

Mariele Canal Bonfante

**MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR COMO MÉTODO
PARA A MANUFATURA SUSTENTÁVEL: PESQUISA-AÇÃO
EM UMA EMPRESA PRODUTORA DE EMBALAGENS
FLEXÍVEIS**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de
Santa Catarina para obtenção do Grau
de Mestre em Engenharia Mecânica
Orientador: Prof. Dr. João Carlos
Espíndola Ferreira

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bonfante, Mariele Canal
MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR COMO MÉTODO PARA A
MANUFATURA SUSTENTÁVEL : PESQUISA-AÇÃO EM UMA EMPRESA
PRODUTORA DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS / Mariele Canal Bonfante
; orientador, João Carlos Espindola Ferreira -
Florianópolis, SC, 2016.
115 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Manufatura Sustentável. 3.
Sus-VSM. I. Ferreira, João Carlos Espindola . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Mariele Canal Bonfante

**MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR COMO MÉTODO
PARA A MANUFATURA SUSTENTÁVEL: PESQUISA-AÇÃO
EM UMA EMPRESA PRODUTORA DE EMBALAGENS
FLEXÍVEIS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, __ de __ de 2016.

Prof. Armando Albertazzi G. Jr., Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Fernando Antonio Forcellini, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC

Prof. Glauco Garcia Martins Pereira da Silva, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Aos professores, que ao longo de
minha jornada acadêmica foram
inspiração

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Professor João Carlos Espíndola Ferreira, que aceitou me guiar neste desafio.

À empresa na qual a pesquisa foi desenvolvida, pela oportunidade, pela confiança e pela ótima recepção que tive, em especial agradeço às pessoas envolvidas diretamente na realização deste projeto: Luciano, Lúcia, Marcos, Lisi, Deisi, Juninho, Andréia, Bete, Amaurí e Preta.

À minha família e amigos de longa data.

Aos meus colegas do Grupo de Integração da Manufatura e colegas do Posmec, pelas valiosas dicas e compartilhamento de experiências, em especial a Deborah, Danilo, Emílio, Gerônimo, Jackeline, Lúcio, Rolon, Thiago e Vando.

Aos professores Nilson Maziero e Luís Edson Saraiva pelas cartas de recomendação.

Agradeço também a CAPES – PROEX pelo apoio financeiro
dado a esta pesquisa.

RESUMO

A prática da manufatura nos moldes do século XX e o consumo excessivo de recursos naturais unidos à pouca atenção ao trabalhador, já não são mais aceitos pela sociedade atenta às ações tomadas pelas empresas. Levar para o ambiente fabril os conceitos da sustentabilidade é um desafio para a gestão da manufatura do século XXI. A sustentabilidade, por vezes interpretada erroneamente como um movimento ambientalista radical, prega na verdade a continuidade do desenvolvimento, porém, de uma forma harmônica em que os âmbitos econômico, ambiental e social estejam em equilíbrio. A gestão da manufatura é capaz de contribuir com o desenvolvimento sustentável ao considerar os aspectos da sustentabilidade no planejamento ou realizações de melhorias em um sistema produtivo. O Mapeamento de Fluxo de Valor apresenta-se como uma ferramenta para contribuir com a manufatura enxuta. Todavia, não há trabalhos empregando esta ferramenta voltada à sustentabilidade no contexto brasileiro. Portanto, por meio de uma pesquisa-ação, aplicou-se o método Mapeamento de Fluxo de Valor Sustentável (Sus-VSM) em um empresa brasileira produtora de embalagens flexíveis. Como resultados teve-se a proposição de melhorias capazes de diminuir o tempo de atravessamento, o consumo energético, desperdícios de matéria-prima, riscos ambientais e também a carga física de trabalhadores, podendo-se concluir que a aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor associado a aspectos de sustentabilidade conduz a significativos benefícios ao sistema produtivo.

Palavras-chave: Mapeamento de Fluxo de Valor. Manufatura Sustentável. Sus-VSM. Embalagens Flexíveis.

ABSTRACT

The practice of manufacturing along the lines of the twentieth century and the excessive consumption of natural resources together with the little attention given to the worker are no longer accepted by society, which is alert to the actions taken by companies. Applying in the manufacturing environment the concepts of sustainability is a challenge for manufacturing management in the twenty-first century. Sustainability, sometimes mistakenly interpreted as a radical environmental movement, preaches in fact the continuation of development, however, in balance with the economic, environmental, and social areas. Manufacturing management is able to contribute to sustainable development by considering aspects of sustainability in planning or improving a production system. Value Stream Mapping is a tool that seeks to contribute to lean manufacturing. However, there is no work using this tool aimed at sustainability in the Brazilian context. Therefore, through an action research, we applied the method of Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM) in a Brazilian producer of flexible packaging. As results there are improvements that reduce the lead time, energy consumption, waste of raw materials, environmental hazards, and the physical burden of workers. Based on those results it may be concluded that the application of Value Stream Mapping associated with sustainability aspects leads to significant benefits to the production system.

Keywords: Sustainable Manufacturing. Value Stream Mapping. Sus-VSM. Flexible Packaging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Resultados das buscas em base de dados.....	27
Figura 2- Ilustração de um mapa do estado atual.....	35
Figura 3- Mapa do estado atual com o método Sus-VSM.....	44
Figura 4- Produção de embalagens flexíveis no Brasil	57
Figura 5- Exemplo de produtos da Empresa I.....	58
Figura 6- Leiaute da Empresa I.....	59
Figura 7- (a) Ilustração bobina simples, (b) Ilustração bobina dupla....	60
Figura 8- Fluxo da produção de bobinas de filme laminado	61
Figura 9- Polietileno linear e polietileno de baixa densidade.....	62
Figura 10- Processo de extrusão por sopro	63
Figura 11- Exemplo de bobinas de filme transparente	63
Figura 12- Ilustração de fixação de clichê em camisa	64
Figura 13- Esquema da impressora flexográfica.	65
Figura 14- Representação esquemática da laminação	66
Figura 15- Rebobinamento: (a) bobina simples, (b) bobina dupla	67
Figura 16- Quantidades produzidas por processo em julho de 2015.....	70
Figura 17- Tempo de processamento para entregar 1 kg de produto ao cliente	71
Figura 18- Wattímetro usado na medição da potência dos equipamentos	72
Figura 19- Consumo energético utilizando bobinas simples e duplas... 73	
Figura 20- (a) Quilogramas perdidos em cada etapa; (b) porcentagem de perdas	74
Figura 21- Índices PLI nas etapas do processo produtivo	75
Figura 22- Mapa do estado atual	77
Figura 23- Avaliação do mapa do estado atual	79
Figura 24- Redução de horas de máquina parada por mês	80
Figura 25- Redução de horas de processamento por mês.....	81
Figura 26- Redução de perda de matéria-prima	82
Figura 27- Mapa do estado futuro	83
Figura 28- Comparação de tempo de processamento por mês	87
Figura 29- Representação da extrusão atual e futura.....	88
Figura 30- Exemplo de coleta de matéria-prima desperdiçada para pesagem.....	91
Figura 31- Ilustração da localização do processo puxador.....	92
Figura 32- Máquina embaladora de paletes.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Impactos ambientais relacionados aos 7 desperdícios	40
Quadro 2- Principais métodos e seus indicadores	46
Quadro 3- Desperdícios relacionados aos tipos de métricas no Sus-VSM	49
Quadro 4- Representação visual das métricas ambientais.....	50
Quadro 5- Representação visual das métricas sociais	53
Quadro 6- Cronograma de aplicação do método Sus-VSM em uma empresa produtora de embalagens plásticas.....	55
Quadro 7- Melhorias propostas e ordem de prioridade	85
Quadro 8- Pontos positivos e negativos da escolha de bobinas	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Distribuição de turnos e operários por processo.	69
Tabela 2- Consumo energético por kg produzido	72
Tabela 3- Resultado da avaliação de riscos ambientais.....	74
Tabela 4- Situação atual e futura.....	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3Ps - *People, Planet e Profits*. (Pessoas, Planeta e Lucros)

BSV – *Blue Sky Vision*

DALY- *Disability-adjusted life year*

EPA – *Environment Protect Agency*

ErgoVSM - *Ergonomics Value Stream Mapping* (Mapeamento de Fluxo de Valor Ergonômico)

EVSM - *Environmental Value Stream Mapping* (Mapeamento de Fluxo de Valor Ambiental)

FIFO -*First in First Out*

JIT – *Just in Time*

LCA - *Life Cycle Assessment* (Avaliação de Ciclo de Vida)

PLI – *Phisycal Load Index* (Índice de Carga Física)

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RBS- Revisão Bibliográfica Sistemática

SMM - *Sustainable Manufacturing Mapping* (Mapeamento de Produção Sustentável)

Sus-VSM – *Sustainable Value Stream Mapping* (Mapeamento do Fluxo de Valor Sustetável)

TBL - (Triple BottomLine (Tripé da Sustentabilidade)

TPM - Manutenção Produtiva Total

TRF – Troca Rápida de Ferramentas

VSM – Value Stream Mapping (Mapeamento do Fluxo de Valor)

WIP – *Work in Process* (Material em Processamento)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	23
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E PROBLEMÁTICA DA PESQUISA	24
1.3 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	25
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	25
1.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA	26
1.5.1 Etapa de pesquisa bibliográfica	26
1.5.2 Etapa de pesquisa-ação	28
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	29
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	31
2.1 A MANUFATURA ENXUTA E O PENSAMENTO ENXUTO ...	31
2.2 O TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE	38
2.3 MANUFATURA SUSTENTÁVEL.....	38
2.4 O MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR NA MANUFATURA SUSTENTÁVEL: RBS	42
3 O MÉTODO SUS-VSM	49
3.1 MÉTRICA ECONÔMICA DO MÉTODO	49
3.2 MÉTRICA AMBIENTAL DO MÉTODO.....	49
3.3 MÉTRICA SOCIAL DO MÉTODO.....	51
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO SUS-SVM.....	55
4.1 A INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS..	56
4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	57
4.2 SELEÇÃO DO PRODUTO ESTUDADO	59
4.3 O PROCESSO PRODUTIVO.....	60
4.3.1 Recebimento e estocagem de matéria-prima	61
4.3.2 Extrusão por sopro.....	62
4.3.3 Impressão	64
4.3.4 Laminação.....	66
4.3.5 Cura.....	66
4.3.6 Rebobinamento.....	67
4.3.7 Embalagem	68
4.4 MAPA DO ESTADO ATUAL	68
4.4.1 Mapa do estado atual: contexto econômico.....	68
4.4.2 Mapa do estado atual: contexto ambiental	71
4.4.3 Mapa do estado atual: contexto social	74
4.5. MAPA DO ESTADO FUTURO	80
5. IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS	85
5.1 BOBINA SIMPLES X BOBINA DUPLA	86

5.2 REDUÇÃO DO TEMPO DE <i>SETUP</i> (TRF).....	89
5.3 REDUÇÃO DAS PERDAS DE MATERIAIS	90
5.4 CRIAÇÃO DE SUPERMERCADO	92
5.5 AUTOMATIZAÇÃO DA EMBALAGEM	92
5.6 REDUÇÃO DOS RISCOS QUÍMICOS.....	93
5.7 PADRONIZAÇÃO DO TEMPO DE CURA	93
5.8 DIFICULDADES ENCONTRADAS	94
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	97
REFERÊNCIAS.....	101
APÊNDICE A–Formulário dados da produção.....	109
APÊNDICE B –Formulário PLI.....	110
APÊNDICE C–Formulário riscos ambientais.....	111
APÊNDICE D – Dados coletados para o cálculo do PLI.....	112
APÊNDICE E–Tomada de tempos <i>setup</i> laminação.....	113
APÊNDICE F– Check list clicheria.....	114
APÊNDICE G– Check list <i>setup</i> impressão.....	115

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização do problema da pesquisa desta dissertação, assim como a justificativa, objetivos, contribuições e metodologia. Também é apresentada a estrutura dos capítulos do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O ano de 2015 iniciou com um cenário desfavorável à economia no Brasil. Setores como o automotivo, alimentos, metalurgia, máquinas e equipamentos realizam demissões desde o fim de 2014 (COSTAS, 2015). Em junho de 2015 as fábricas da Mercedes-Benz, Fiat e General Motors interromperam sua produção devido ao declínio das vendas (LAGUNA, 2015). Além disto, o aumento dos custos da energia elétrica, de aproximadamente 23,4% (NEDER, 2015), do transporte e impostos, resulta diretamente no aumento do custo de produção.

De acordo com Sebrae-SP (2015), em março de 2015, as micro e pequenas empresas paulistas apresentaram queda de 4,8% no faturamento real sobre março de 2014:

2015 deve ser um ano de análise e cautela por parte dos empreendedores, evitando desperdícios e racionalizando produção e/ou vendas. Planejar e otimizar recursos serão importantes ferramentas para lidar com a economia mais fraca e a demanda desaquecida.

Tais fatos evidenciam a importância da redução de desperdícios e melhoria no aproveitamento de recursos na produção industrial para que o setor seja capaz de transpor a crise atual e estar preparado para futuros desafios. Além disso, em meio às constantes previsões de escassez de recursos naturais e aumento da poluição do ar, águas e solo, o foco na sustentabilidade torna-se fundamental no desenvolvimento de atividades industriais.

No âmbito industrial, o termo sustentabilidade considera a criação de produtos a partir de processos que minimizam os impactos negativos na natureza, conservando energia e recursos, sendo seguro para os trabalhadores e consumidores além de economicamente viável (THE US DEPARTMENT OF COMMERCE, 2015). Elkington (1997) apresenta o conceito de sustentabilidade afirmando que o sucesso do mercado no futuro dependerá da habilidade das empresas em atender três requisitos

simultaneamente: rentabilidade, qualidade ambiental e justiça social. Este conceito é denominado tripé da sustentabilidade (ELKINGTON, 1997).

Empresas capazes de entregar produtos e serviços com menos impactos ambientais são capazes de obter vantagens competitivas, pois o cliente não quer que o produto adquirido tenha impacto, resíduos e riscos associados a ele, e em alguns segmentos de mercado o melhor desempenho ambiental pode atrair novos clientes (EPA, 2007).

O Mapeamento de Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping* - VSM), na sua forma original, formalizado por Rother e Shook (2003), representa visualmente os fluxos de material e informação do processo produtivo, voltado à identificação de desperdícios que se encaixam nas sete categorias: excesso de produção, defeitos, estoque desnecessário, processamento desnecessário, transporte desnecessário, espera e movimentação desnecessária.

A *Environmental Protection Agency* (EPA) foi a precursora na utilização do VSM estendido à sustentabilidade. Na publicação “*The Lean and Environment Toolkit*” a EPA apresentou como incorporar conceitos ambientais ao VSM, definindo que desperdício ambiental é qualquer uso desnecessário de recursos ou substâncias lançadas no ar, água ou solo que podem prejudicar a saúde humana ou o meio ambiente e, assim como outros tipos de desperdício, não adicionam valor ao cliente e representam custos à empresa e à sociedade (EPA, 2007; EPA, 2011a; EPA, 2011b).

Nesse contexto, a aplicação do Mapeamento de Fluxo de Valor estendido para a sustentabilidade se apresenta como um método para que empresas sejam capazes de melhorar seus processos considerando simultaneamente os âmbitos social, ambiental e econômico.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

Diante dos fatos apresentados na seção anterior, nota-se a necessidade de se melhorar os sistemas de produção para que as empresas continuem no mercado, sendo lucrativas e gerando empregos. Portanto, de acordo com a definição de Elkington (1997), esta melhoria do sistema de produção deve englobar as três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental.

Com relação ao método VSM, na sua forma tradicional, há trabalhos desenvolvidos que comprovam sua eficácia no contexto brasileiro (SILVA, 2013; BREITENBACH, 2013; DAL FORNO, 2008). Técnicas como a Produção Mais Limpa (P+L), que priorizam a melhoria

no processo em relação ao meio ambiente (CNTL, 2003), também foram estudadas no contexto nacional (RAMOS, 2013).

Já a melhoria da produção abrangendo os aspectos da sustentabilidade como um todo é uma área ainda pouco explorada. Uma forma de se alcançar tal melhoria é por meio da aplicação do VSM estendido à sustentabilidade.

Até o presente momento há apenas uma publicação internacional realizada em indústria brasileira e por pesquisadores brasileiros, utilizando o VSM expandido para a área ambiental, a qual foi realizada por Torres e Gati (2009). Entretanto, tal trabalho abrange apenas a área ambiental, não considerando os aspectos econômico e social.

O problema de pesquisa consiste na definição de qual método disponível na literatura, que utiliza o VSM, tem maior potencial para se alcançar a sustentabilidade, e se a aplicação do mesmo é viável no contexto brasileiro.

1.3 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral do trabalho consiste em realizar melhorias no processo produtivo englobando os três âmbitos da sustentabilidade: econômico, ambiental e social, utilizando o Mapeamento de Fluxo de Valor.

A fim de alcançar o objetivo geral desta dissertação, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- desenvolver uma RBS (Revisão Bibliográfica Sistemática) sobre o VSM aplicado à sustentabilidade, e escolher o método mais promissor;
- aplicar o método escolhido em uma empresa brasileira;
- analisar as melhorias obtidas.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Sendo o tema Manufatura Sustentável abrangente, o mapeamento de fluxo de valor adaptado para a sustentabilidade torna-se capaz de englobar um grande número de indicadores que dizem respeito às dimensões econômica, social e ambiental. Portanto, para esta pesquisa adota-se a aplicação do método Sus-VSM (FAULKNER; BADURDEEN, 2014), que é apresentado na seção 3, e utiliza-se os

indicadores contidos neste método. A escolha do método Sus-VSM obedeceu aos seguintes critérios:

- possibilidade de medição direta dos dados;
- não utilização de *softwares* pagos;
- existência de publicação da aplicação do método;

A forma de medição dos dados na pesquisa-ação respeitou as limitações e possibilidades da empresa em estudo.

1.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLGIA

Gil, 2002, p.17 conceitua a pesquisa como um “procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”.

Do ponto de vista dos objetivos, esta é uma pesquisa exploratória. Visto que pretende proporcionar maior contato com o tema (GIL, 2002).

Com base nos procedimentos técnicos, este trabalho possui duas etapas: a etapa de pesquisa bibliográfica, que tem como objetivo o entendimento do que já foi escrito sobre o tema e quem escreveu, dando-se pelo “processo de levantamento e análise do que já foi publicado sobre o tema e o problema de pesquisa escolhidos” (SILVA; MENEZES, 2005), e a etapa de pesquisa-ação (GIL, 2002).

1.5.1 Etapa de pesquisa bibliográfica

Com o objetivo de identificar e descrever o estado do conhecimento sobre a utilização do Mapeamento de Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping* – VSM) como método para melhorar o processo produtivo com foco na sustentabilidade, foi adotada a abordagem de pesquisa conhecida por revisão bibliográfica sistemática (RBS) que, de acordo com Kitchenham (2004), é capaz de resumir os benefícios e limitações de um método específico, identificar lacunas nas pesquisas existentes a fim de sugerir futuras investigações, assim como fornecer uma base do conhecimento existente para apoiar novas pesquisas.

O termo revisão bibliográfica sistemática refere-se a uma metodologia de pesquisa específica, e tem como finalidade reunir e avaliar os documentos disponíveis sobre um determinado tema. Por se tratar de uma maneira formal de realização de revisão, a RBS segue uma sequência de passos bem definidos (Biolchini *et al.*, 2005).

O processo de revisão bibliográfica sistemática, proposto por Kitchenham (2004), é composto por três etapas: planejamento, execução e análise da revisão.

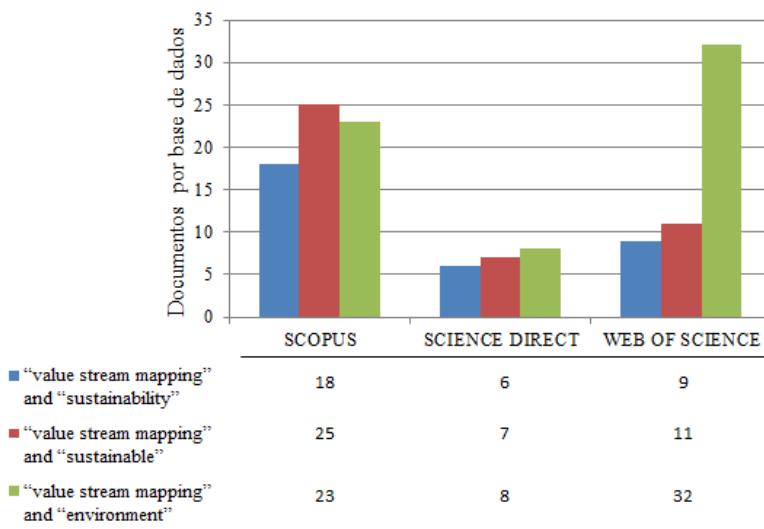
Na etapa de planejamento foram selecionadas as bases de dados *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*, as quais foram escolhidas devido à sua relevância na área pesquisada. Em seguida foram definidas as palavras-chave para a pesquisa, sendo elas:

- a) “value stream mapping” and “sustainability”;
- b) “value stream mapping” and “sustainable”;
- c) “value stream mapping” and “environment”.

Na etapa de execução foram realizadas buscas nas três bases de dados utilizando as palavras-chave escolhidas. Para a obtenção de resultados mais consistentes, as buscas foram feitas utilizando-se os mesmos padrões de pesquisa nas diversas bases de dados. A busca foi realizada em títulos de artigos, resumos e palavras-chaves, tendo sido considerados todos os tipos de arquivos e sem restrição de data de publicação.

Os resultados obtidos a partir das buscas são apresentados na Figura 1.

Figura 1- Resultados das buscas em base de dados



Fonte: (elaborada pela autora)

No total foram encontrados 139 documentos que foram registrados no programa *Endnote Basic*. Com o auxílio deste, foi realizada uma busca por duplicações, restando 85 documentos. Em seguida, tais documentos foram analisados pelo conteúdo do título e resumo. Aqueles que não se encaixaram no critério de estarem relacionados à apresentação ou aplicação do VSM na indústria com foco na sustentabilidade foram excluídos, restando assim 14 documentos para que seus conteúdos fossem completamente analisados. Destes documentos restantes, 4 não estavam disponíveis para a leitura completa.

A última etapa, de análise da revisão, que consta na avaliação dos documentos e redação da RBS é apresentada na seção 2.4.

1.5.2 Etapa de pesquisa-ação

A pesquisa-ação, de acordo com Thiollent (1985), segue a seguinte definição:

é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Uma das principais características deste tipo de pesquisa é que há uma grande interação entre os pesquisadores e as pessoas envolvidas no estudo. Isto influencia a escolha dos problemas a serem pesquisados e as ações concretas realizadas para resolver tais problemas, sendo que a pesquisa-ação visa esclarecer ou até mesmo resolver os problemas da situação observada (THIOLLENT, 1985).

Os critérios de seleção utilizados para a escolha da empresa em que a pesquisa-ação foi realizada consideraram os seguintes aspectos:

- micro e pequena empresa de manufatura;
- empresa que ainda não trabalha com o pensamento enxuto;
- empresa que apresenta motivação para melhoria.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta seção apresenta a forma em que esta dissertação está estruturada:

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

No primeiro capítulo é apresentado o contexto em que a pesquisa se encontra, assim como a problemática, justificativa, objetivos e contribuições. Ainda a delimitação da pesquisa, assim como é esclarecida a metodologia utilizada.

Capítulo 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica necessária para o entendimento do tema abordado. São apresentados os conceitos da manufatura enxuta e do pensamento enxuto, com o detalhamento do mapeamento de fluxo de valor e das ferramentas *lean*. Na sequência são apresentadas considerações sobre o tripé da sustentabilidade e da manufatura sustentável. Em seguida são exibidos os resultados da RBS sobre a utilização do mapeamento de fluxo de valor na sustentabilidade.

Capítulo 3 – O MÉTODO SUS-VSM

Neste capítulo o método Sus-VSM é apresentado em detalhes. São apresentadas as métricas econômicas, ambientais e sociais do método.

Capítulo 4 – APLICAÇÃO DO MÉTODO SUS-VSM

O quarto capítulo é dedicado à aplicação do método Sus-VSM. Inicialmente a empresa em que o estudo foi conduzido é apresentada. Em seguida, o produto a ser estudado é escolhido e o processo produtivo é detalhado. Na sequência, tem-se o mapa do estado atual. Finalmente é realizada a análise do mapa atual e o estado futuro é proposto.

Capítulo 5 – IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS

O quinto capítulo apresenta a implementação das melhorias propostas pelo mapa do estado futuro. No fim do capítulo é exposta a avaliação dos resultados obtidos pelas melhorias.

Capítulo 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O sexto capítulo apresenta as conclusões da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico serão apresentados conceitos sobre a manufatura enxuta, o tripé da sustentabilidade, manufatura sustentável e os resultados da RBS que envolvem a utilização do mapeamento de fluxo de valor na busca da manufatura sustentável.

2.1 A MANUFATURA ENXUTA E O PENSAMENTO ENXUTO

Com o lançamento do livro “A Máquina que Mudou o Mundo”, em 1990, os autores Womack, Jones e Roos (1990) tinham como objetivo mostrar às organizações que havia uma forma melhor de organizar e gerenciar o relacionamento com clientes, fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção. Esta melhor forma, que trata de fazer cada vez mais com cada vez menos, foi denominada de Manufatura Enxuta, também conhecida como *Lean Manufacturing*, *Lean Production* ou Sistema Toyota de Produção, sendo que a Toyota foi a pioneira na sua utilização após a Segunda Guerra Mundial (WOMACK; JONES, 2004).

Após verificar a grande aceitação da abordagem da Manufatura Enxuta, Womack e Jones (2004) perceberam que ainda existia uma necessidade de entendimento sobre quais princípios-chave deveriam guiar as ações nas organizações. A fim de atender esta demanda, os autores apresentaram os cinco princípios do Pensamento Enxuto, sendo eles: valor, fluxo de valor, fluxo, sistema puxado e perfeição:

1. Valor: o primeiro princípio orienta para que se especifique o que é valor, e este só pode ser definido pelo próprio cliente final. O valor deve ser sintetizado em um produto (bem ou serviço) que atenda às necessidades do cliente, em um determinado momento e a um determinado custo.

2. Fluxo de valor: o segundo princípio indica que deve-se identificar a cadeia de valor, ou seja, o conjunto de todas as ações necessárias para que o produto chegue até o cliente e o satisfaça.

3. Fluxo: o terceiro princípio propõe que se faça com que o valor flua continuamente pelo processo e, para que o valor flua, é imprescindível que este tenha sido especificado com precisão e que o processo já esteja livre das etapas que geram desperdício.

4. Sistema puxado: o quarto princípio orienta para deixar que o cliente puxe o valor, ou seja, deve-se produzir apenas o que é necessário quando for necessário e, desta forma, evita-se a produção de itens que ficarão parados em estoque.

5. Perfeição: o último princípio recomenda que se busque continuamente a melhoria do processo, ou seja, deve-se estar sempre em busca da satisfação do cliente.

Para que a organização atinja o objetivo de entregar valor ao cliente, ao mesmo tempo em que utiliza menos esforço humano, menos equipamentos, menos tempo e menos espaço é necessário identificar e eliminar, ou reduzir, desperdícios. Womak e Jones (2004) conceituam desperdício como “qualquer atividade humana que absorve recursos mas não cria valor”.

Atividades que criam valor são aquelas “operações estritamente relacionadas com a elaboração do produto ou prestação do serviço” (MAXIMIANO, 2011). Já as atividades que não criam valor devem ser reduzidas ou evitadas, porém, existem algumas atividades que não criam valor, mas que são necessárias, como, por exemplo, a inspeção de soldas.

Diante da existência de atividades que são consideradas desperdício, deve-se eliminá-las imediatamente. Ohno (1997) apresentou os sete tipos de desperdícios existentes nas organizações, sendo eles:

1. Desperdício de superprodução: refere-se a produzir mais, antes, ou mais rápido do que é requerido pelo processo seguinte. A superprodução tem como consequência outros desperdícios como o excesso de estoque e dinheiro alocados, necessidade de espaço para armazenamento, necessidade de manuseio, demandando pessoas e equipamentos. Além disso, com o excesso de produção os processos ficam ocupados fabricando produtos desnecessários para aquele momento, resultando na necessidade de operadores e capacidade de equipamentos extras (ROTHER; SHOOK, 2003).

Uma forma de se evitar a superprodução é seguir o princípio do *Just in Time* (JIT), que recomenda produzir o item no momento em que ele é necessário para que o cliente não fique esperando, na quantidade solicitada para que não haja acúmulo de estoques (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

2. Desperdício de tempo disponível (espera): pode se referir à espera da peça por processamento ou da máquina por peças. Segundo Shingo (1996b), esperas podem ser causadas pelos longos tempos de troca de dispositivos e ferramentas; pela falta de sincronização da produção e por falhas não previstas.

As causas das esperas podem ser abordadas com a utilização de ferramentas da Manufatura Enxuta, como a Troca Rápida de

Ferramentas (TRF), nivelamento da produção, *kanban* e Manutenção Produtiva Total (TPM – *Total Productive Maintenance*).

3. Desperdício em transporte: trata-se do desperdício pela locomoção desnecessária de materiais, pessoas e informações. Este desperdício se dá devido às características do processo e das instalações, “[...] que impõem grandes distâncias a serem percorridas pelo material ao longo do processamento” (CORREA; CORREA, 2013, p.471).

O excesso de transporte pode ser eliminado com mudanças no leiaute e organização do local de trabalho (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

4. Desperdício de processamento: consiste no desperdício por realização de tarefas desnecessárias durante o processo de fabricação. Pode-se eliminar estes desperdícios por meio da verificação da real necessidade das tarefas executadas, manutenção de máquinas e dispositivos à prova de erros (conhecidos como *Poka-Yoke*).

5. Desperdício de estoque: refere-se ao excesso de matéria-prima e produtos em processamento. Além de ocultar outros tipos de desperdício, o excesso de estoque gera desperdícios de investimento e espaço (CORREA; CORREA, 2013).

6. Desperdício de movimento: trata-se do desperdício causado por movimentação desnecessária de operadores e materiais durante o processamento. Normalmente por meio da organização do local de trabalho pode-se reduzir estas movimentações

7. Desperdício de produzir produtos defeituosos: para Correa e Correa (2013), problemas de qualidade geram os maiores desperdícios do processo. Produtos defeituosos geram perdas de matéria-prima, quando podem ser reprocessados geram perda de tempo de processamento e, na pior situação, quando o defeito só é detectado pelo usuário final, podem causar danos à imagem da empresa. A melhor forma de se evitar tantos desperdícios é realizando o controle do processo produtivo (PALADINI, 2011).

Liker (2005) acrescenta ainda o oitavo desperdício:

8. Desperdício de criatividade: perda intelectual devido ao fato de que os funcionários não estão sendo aproveitados ou envolvidos.

Liker e Hoseus (2009) alertam para a armadilha de se buscar a melhoria dos processos produtivos por meio da utilização de conceitos e ferramentas da manufatura enxuta de forma isolada. Para eles, é fundamental manter uma cultura centrada em pessoas que sustenta crescimento consistente, inovação, lucratividade e excelência, o que pode levar anos para ser instalada.

O Mapeamento de Fluxo de Valor

Em uma das etapas para se alcançar o pensamento enxuto, Womak e Jones (2004) sugerem que seja realizado o mapeamento do fluxo completo de valor de todas as famílias de produtos. A finalidade é que o fluxo de valor seja analisado como um todo, e melhorias isoladas sejam evitadas, pois estas não refletem em redução de custo, nem melhorias para o cliente na qualidade e no serviço, nem benefício para o fornecedor (ROTHER; SHOOK, 2003).

Entende-se por fluxo de valor o conjunto de ações necessárias para a produção de um produto, desde o consumidor até o fornecedor. Já o mapeamento de fluxo de valor, formalizado por (ROTHER, SHOOK, 2003), é a representação visual, com fluxo de material e informação, de cada processo.

O objetivo do mapeamento de fluxo de valor é melhorar o todo, levando em conta a visão global, e não processos individuais com otimização de partes isoladas. Para isto, torna-se necessária a identificação do valor e as fontes de desperdício (ROTHER; SHOOK, 2003).

Em alguns casos o desperdício é inevitável. Entretanto, o propósito do VSM é proporcionar a visualização de tais casos e avaliar se há a possibilidade de se reduzir ou eliminar o desperdício (BROWN; AMUNDSON; BADURDEEN, 2014).

Uma maneira de se gerenciar as complexidades do sistema de produção ao realizar o mapeamento é limitar o mapa apenas a elementos chave do fluxo (ROTHER; SHOOK, 2003).

O mapeamento de fluxo de valor é um método para entender a sequência de atividades e fluxo de informações usadas para produzir um produto ou entregar um serviço, sendo que os praticantes do pensamento enxuto o utilizam para identificar as maiores fontes de tempo sem agregação de valor em um fluxo de valor (EPA, 2007).

Dentre os requisitos do mapeamento de fluxo de valor tem-se a necessidade de percorrer o chão de fábrica, falar com os colaboradores e observar cuidadosamente como um produto é realmente fabricado, do início ao fim (EPA, 2007).

O mapeamento de fluxo de valor é composto por três principais etapas, sendo elas: o mapeamento do estado atual, o mapeamento do estado futuro e o plano de implementação. Tais etapas, apresentadas por Rother e Shook, (2003), estão descritas nos próximos tópicos.

número de operadores, tempo de ciclo, tempo de troca, disponibilidade real da máquina, tamanho dos lotes de produção, tempo de trabalho, taxa de refugo.

Abaixo de cada caixa de processo deve-se representar uma linha do tempo, com as informações de tempos de cada etapa produtiva.

Diante da existência de estoque entre os processos deve-se utilizar o símbolo de estoque e abaixo dele informar a quantidade ou o tempo.

Ao final do processo de mapeamento tem-se o tempo de atravessamento (*lead time*) do processo mapeado, assim como o tempo de processamento.

2.1.1.2 Mapa do estado futuro

O mapa do estado futuro tem como objetivo a representação visual das melhorias a serem implementadas, devendo incluir o fluxo de materiais e informações idealizados pela empresa. O mapa futuro pode ser chamado de *Blue Sky Vision* (BSV), ou seja, a situação de estado futuro almejada pela empresa.

De acordo com Rother e Shook, (2003), busca-se implementar um processo capaz de fazer somente o que o processo seguinte necessita e quando necessita. Para tanto, todos os processos devem ser interconectados em um fluxo regular, que resulte no menor tempo de atravessamento, na mais alta qualidade e no menor custo.

Para que se possa alcançar o BSV, uma série de técnicas, sugeridas por Rother e Shook, (2003), podem ser utilizadas:

1. Produzir de acordo com o *takt time*: esta técnica propõe a sincronização do ritmo de produção (*takt time*) com o ritmo das vendas. O *takt time* é definido como o quociente do tempo disponível de trabalho (em segundos), por turno, dividido pelo volume da demanda do cliente (em unidades), por turno. As principais dificuldades para se produzir de acordo com o *takt time* estão na capacidade de se fornecer respostas rápidas para problemas, na capacidade de se eliminar as causas de paradas de máquina não planejadas e na capacidade de se eliminar tempos de troca. No mapa do estado futuro, os *takt times* são anotados nas caixas de dados.

2. Desenvolver fluxo contínuo onde for possível: esta técnica sugere que seja produzida uma peça de cada vez, com cada item sendo passado imediatamente de um estágio do processo para o seguinte sem nenhuma parada.

3. Utilizar supermercados: em alguns pontos da produção pode haver necessidade de produção em lotes e, nesse caso, recomenda-se a utilização de supermercados para o controle da produção, ou seja, trata-se da adoção de um sistema puxado entre dois processos. O objetivo desta técnica é permitir que as retiradas do processo posterior do supermercado determinem quando o processo anterior deve produzir e em que quantidade, libertando o sistema produtivo da necessidade de previsão de demanda destes processos.

4. Enviar a programação do cliente para somente um processo de produção: esta técnica propõe a escolha de um processo para ser o puxador, ou seja, este processo é controlado pelos pedidos dos clientes externos. A partir do processo puxador não devem mais existir supermercados nem outros processos puxadores.

5. Nivelar o mix de produção: o objetivo é distribuir a produção de diferentes produtos uniformemente no decorrer do tempo do processo puxador. Desta forma, o processo estará mais apto para responder às diferentes solicitações dos clientes com o menor tempo de atravessamento, ao mesmo tempo em que se mantém um estoque baixo da produtos acabados. Uma das principais dificuldades ao se nivelar o *mix* está na necessidade de maior número de trocas de ferramentas.

6. Nivelar o volume de produção: a finalidade desta técnica é evitar a liberação de grandes lotes de trabalho no chão de fábrica. Com o estabelecimento de um ritmo de produção consistente ou nivelado cria-se um fluxo de produção previsível. Do contrário podem ocorrer problemas como a falta de noção de *takt time*, realização do trabalho de forma irregular no decorrer do tempo, com picos e vales que causam sobrecarga, dificuldade de monitorar se o processo está atrasado ou adiantado, além de possíveis alterações na sequência dos pedidos.

7. Desenvolver a habilidade de fazer “toda peça todo dia” nos processos anteriores ao processo puxador: com a produção de lotes menores os processos se tornam capazes de responder às mudanças mais rapidamente. Além de se poder trabalhar com cada vez menos estoque nos supermercados.

2.1.1.3 Plano de implementação

Para que o estado planejado no BSV seja implementado é necessário que haja um planejamento. Deve-se definir os responsáveis por cada tarefa a ser realizada, assim como as metas a serem alcançadas e o prazo de realização das atividades.

2.2 O TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE

As primeiras discussões sobre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável surgiram no fim da década de 1960 e início da década de 1970. O maior indício de que as questões relacionadas ao meio ambiente estavam começando a ter relevância foi a criação do organismo denominado Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em 1972 (PNUMA, 2015). Na sequência, outras ações, como a Rio 92 (ONU, 2015), a Agenda 21 (MMA, 2015) e mais recentemente a COP 21 (UNEP, 2015), confirmam que a busca pelo desenvolvimento sustentável é imprescindível.

Entende-se que para haver a melhoria do padrão de vida da sociedade, o desenvolvimento é necessário (VEIGA, 2005), contudo, tal desenvolvimento deve ser de tal forma que permita sua continuidade ao longo do tempo. Portanto, o termo desenvolvimento sustentável refere-se ao desenvolvimento capaz de atender as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem suas próprias necessidades (UN-DOCUMENTS, 1987).

A busca da sustentabilidade deve ser baseada no equilíbrio entre o crescimento econômico, qualidade ambiental e justiça social, ou seja, as tomadas de decisão devem atribuir a mesma importância aos três âmbitos. Um sistema econômico sustentável é aquele que protege os recursos renováveis e aborda as desigualdades entre as nações (UNCTAD, 1996 *apud* HENRIQUES; RICHARDSON, 2012).

O tripé da sustentabilidade (*Triple Bottom Line* – TBL) é um termo criado por Elkington (1997) para expressar não apenas o valor econômico que as corporações criam, mas também os valores ambientais e sociais que elas criam, ou destroem (HENRIQUES; RICHARDSON, 2012). Outro termo para o mesmo conceito é o 3Ps: *People, Planet e Profits* (HENRIQUES; RICHARDSON, 2012).

2.3 MANUFATURA SUSTENTÁVEL

No contexto industrial, o termo Manufatura Sustentável é definido pelo THE US DEPARTMENT OF COMMERCE (2015 s.p.) como:

a criação de produtos manufaturados por meio de processos que minimizam impactos ambientais negativos, conservam energia e recursos naturais, são seguros para funcionários, comunidades e consumidores e são economicamente viáveis.

As emissões de poluentes e resíduos gerados pela manufatura são significativos e, portanto, a manufatura sustentável tem atraído a atenção nos últimos anos como uma estratégia abrangente para se reduzir impactos e melhorar o desempenho econômico das indústrias manufatureiras (YUAN; ZHAI; DORNFELD, 2012).

Diversas pesquisas vêm contribuindo com o desenvolvimento de métodos e técnicas para se obter ambientes de manufatura mais sustentáveis, como é o caso de Deif (2011), Despeisse, Oates e Ball (2013) e Gimenez, Vicenta e Rodon (2012).

Gupta *et al.* (2016) afirmam que a indústria de transformação está se esforçando para melhorar a produtividade e a qualidade dos produtos ao mesmo tempo em que mantém um ambiente limpo e sustentável.

O projeto de um sistema clássico de manufatura envolve muitos aspectos que se inter-relacionam, como os métodos de manejo de materiais, configurações do processo, leiaute, entre outros. Já o projeto de um sistema de manufatura sustentável leva em conta além das restrições econômicas, as restrições ecológicas e, portanto, deve-se lidar simultaneamente com parâmetros adicionais, o que torna este sistema mais complexo (PAJU *et al.*, 2010).

Para Zhang e Haapala (2015), os engenheiros atrelados diretamente à manufatura têm enfrentado uma variedade de desafios, incluindo a otimização de sistemas de produção, o cumprimento de leis ambientais, a consideração da segurança do operador e da sua saúde.

Para alcançar a sustentabilidade, produtos, processos e serviços não podem se restringir somente ao cumprimento de suas funções, desempenho e custo. Devem também buscar atender o meio ambiente e as questões sociais (GUPTA *et al.*, 2016).

Uma maneira natural de se desenvolver melhores estratégias para a manufatura sustentável é examinar as melhores práticas utilizadas atualmente e como elas podem ser adaptadas para atender os requerimentos da sustentabilidade (FAULKNER; BADURDEEN, 2014). Portanto, estabelecer uma relação entre o pensamento enxuto e a manufatura sustentável apresenta-se como uma ação com potencial para alcançar bons resultados.

Manufatura sustentável e o pensamento enxuto

As transformações geradas pela aplicação da manufatura enxuta sempre estão associadas a transformações favoráveis ao meio ambiente correspondente (MILLER; PAWLOSKI; STANDRIDGE, 2010). Os desperdícios da manufatura sustentável são notavelmente diferentes dos desperdícios da manufatura enxuta (MILLER; PAWLOSKI; STANDRIDGE, 2010).

Tendo a manufatura enxuta como base, a EPA (2007) apresenta o conceito de desperdício ambiental, que refere-se a qualquer uso desnecessário de recursos ou substâncias lançadas no ar, água ou solo que podem prejudicar a saúde humana ou o meio ambiente. Assim como outros tipos de desperdícios, não entregam valor ao cliente e representam custos à empresa e à sociedade.

Desperdícios ambientais podem ocorrer quando as indústrias utilizam recursos para gerar produtos ou serviços, ou quando o consumidor utiliza e descarta o produto. Assim, pode-se dizer que tais desperdícios incluem a energia, água ou matéria-prima consumida em excesso, comparado ao que é necessário para atender a necessidade do cliente, assim como poluentes e materiais descartados no meio ambiente e também a utilização de substâncias perigosas ao ser humano ou meio ambiente (EPA, 2007).

Além disso, a EPA (2007) mostra a relação entre os 7 desperdícios apresentados pela manufatura enxuta e os impactos ambientais decorrentes de tais desperdícios, conforme o Quadro 1.

Quadro 1- Impactos ambientais relacionados aos 7 desperdícios

Tipo de desperdício	Impacto ambiental relacionado
Superprodução	<ul style="list-style-type: none"> • Mais matéria-prima e energia consumidas para fazer produtos desnecessários; • Existência de produtos que podem ficar obsoletos e necessitar serem descartados; • Maiores quantidades de materiais utilizados resultam em maiores quantidades de emissões, materiais descartados, exposições dos trabalhadores entre outros.
Estoque	<ul style="list-style-type: none"> • Maior quantidade de embalagens para guardar o material em processamento; • Desperdícios por deterioração ou danos no material em processamento; • Maior quantidade de materiais necessários

	<ul style="list-style-type: none"> para repor os materiais danificados; • Maior energia utilizada para aquecer, refrigerar e iluminar o local de armazenamento.
Transporte e movimento	<ul style="list-style-type: none"> • Mais energia consumida para o transporte ou movimento; • Emissões geradas pelo transporte; • Maior necessidade de espaço para a movimentação do material, resultando em maior consumo de energia para iluminação, aquecimento e refrigeração; • Maior necessidade de embalagens para proteger o produto durante o transporte; • Danos que podem acontecer durante o transporte; • O transporte de materiais perigosos requer formas especiais de embalagem e transporte a fim de evitar acidentes.
Defeitos	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria-prima e energia consumidas na fabricação de produtos defeituosos; • Componentes defeituosos requerem reciclagem ou descarte; • Mais espaço necessário para retrabalho e reparo, aumentando o consumo de energia.
Processamento desnecessário	<ul style="list-style-type: none"> • Maior quantidade de peças e matéria-prima consumidas por unidade produzida; • Processamentos desnecessários aumentam os desperdícios, energia consumida e emissões.
Espera	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de danos nos materiais, causando desperdícios; • Desperdício de energia para aquecimento, refrigeração e iluminação durante o tempo improdutivo.

Fonte: Traduzido de EPA (2007)

Nos últimos anos muitos trabalhos relacionando a manufatura enxuta e o conceito de sustentabilidade foram publicados (SAWHNEY *et al.*, (2007); DUES; TAN; LIMB, (2013); KURDVE *et al.*, (2014)).

Garza-Reyes, (2015) realizou uma RBS sobre o chamado *Lean and Green*, que é a integração da Manufatura Enxuta com a Manufatura Sustentável. Segundo ele, por ser um tema bastante novo ainda faltam

definições estruturadas na literatura, porém sua prática vem apresentando bons resultados para o alinhamento das tradicionais práticas da manufatura, que buscam eficiência e lucro, com as novas estratégias em busca da sustentabilidade.

2.4 O MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR NA MANUFATURA SUSTENTÁVEL: RBS

Nesta seção são apresentadas as principais informações dos 10 documentos resultantes da RBS.

O primeiro documento avaliado foi elaborado por Lai *et al.* (2008). Os autores utilizaram inicialmente o mapeamento de fluxo de valor convencional para visualizar o processo de embalagem de peças automotivas. Em seguida eles adaptaram o mapeamento para registrar o fluxo de material e energia que entra e sai em cada etapa do processo. O objetivo do trabalho foi avaliar o processo considerando custos, indicadores ambientais e energia. Neste trabalho foi avaliado o impacto ambiental do processo por meio da avaliação de ciclo de vida (*Life Cycle Assessment* – LCA) em conjunto com relatórios de consumo energético. Já a avaliação financeira de custos foi realizada por meio da contabilidade de custos.

Os autores brasileiros Torres e Gati (2009) apresentaram o mapeamento de fluxo de valor ambiental (*Environmental Value Stream Mapping* - EVSM) e aplicaram esta metodologia em uma usina de álcool e açúcar a fim de investigar o consumo de água no processo. A análise foi realizada em três processos: produção de açúcar, refinamento do açúcar e produção de álcool.

Torres e Gati (2009) distinguiram três medidas de consumo de água: água ativada, que é a quantidade de água que entra no processo; água usada, que corresponde à quantidade de água que o processo necessita para funcionar, e água adicionada ao produto, que é a quantidade de água agregada ao produto final. A partir destas três distinções, os autores propõem diferentes tipos de perdas: perda latente, perda real, perda intrínseca funcional e perda latente/real funcional. Esta classificação de perdas faz com que o método fique confuso.

Paju *et al.* (2010) introduzem uma nova metodologia baseada no VSM, denominada como mapeamento de produção sustentável (*Sustainable Manufacturing Mapping* – SMM). O SMM tem como base o VSM, o LCA e a simulação de eventos discretos. Este trabalho apresenta todos os passos para a utilização do SMM, porém, não realiza aplicações.

Vinodh, Arvind e Somanaathan (2011) apresentam as possíveis estratégias para que empresas melhorem seu desempenho ambiental por meio de técnicas da manufatura enxuta. Dentre as possíveis estratégias eles citam a adaptação do VSM. Os autores apresentam a possibilidade de utilização de indicadores ambientais no VSM, porém não realizam uma aplicação.

Chiarini (2014) observou empresas europeias fabricantes de componentes para motocicletas a fim de verificar os benefícios ambientais de princípios, métodos e ferramentas da manufatura enxuta, dentre eles, o VSM ambiental. Segundo a autora, todas as empresas observadas obtiveram sucesso na aplicação do método. Esse trabalho avalia a eficácia do método VSM ambiental, porém não apresenta detalhes sobre o mesmo.

Jarebrant *et al.* (2015) apresentam o método de mapeamento de fluxo de valor ergonômico (*Ergonomics Value Stream Mapping* - ErgoVSM), que considera aspectos ergonômicos no operador durante o processo de produção. O foco do método é identificar riscos de desenvolvimento de distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho. Esses autores afirmam que no VSM clássico os seres humanos atuantes no processo produtivo são considerados somente em termos de número de operadores necessários em cada estágio da produção.

Jarebrant *et al.* (2015) aplicaram o método em empresas suecas, e afirmam que a aplicação do ErgoVSM foi mais demorada do que uma aplicação clássica de VSM. O ErgoVSM considera cinco aspectos: posturas de trabalho, forças, variação física, porosidade (definida como proporção de tempo de trabalho que pode oferecer oportunidade de recuperação física), e o potencial de se atingir um estado futuro com boa ergonomia.

Faulkner e Badurdeen (2014) apresentam uma metodologia para adicionar indicadores de sustentabilidade ao VSM. O diferencial deste VSM, chamado de Mapeamento de Fluxo de Valor Sustentável (*Sustainable Value Stream Mapping* - Sus-VSM) é a presença de dados que abrangem todo o conceito de sustentabilidade apresentado por Elkington (1997): rentabilidade, qualidade ambiental e justiça social.

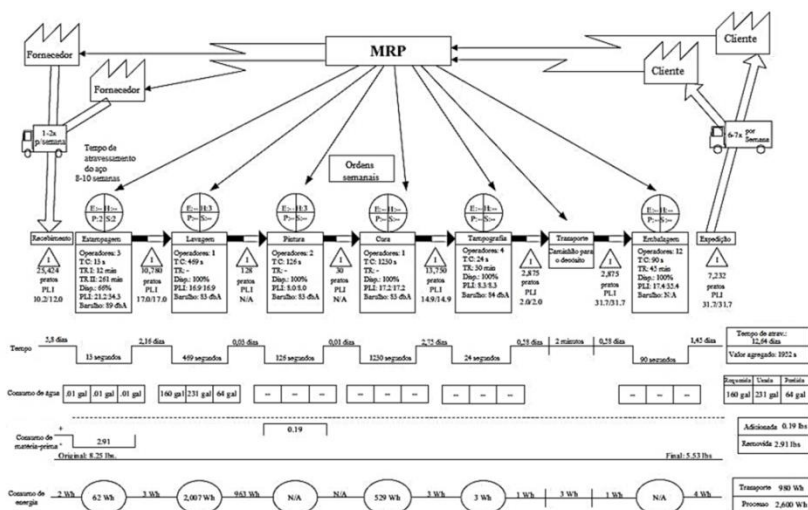
O Sus-VSM é construído sobre o VSM tradicional para capturar aspectos de sustentabilidade no fluxo do produto. Esta capacidade de expor visualmente o desempenho ambiental e social aumenta a utilidade do VSM como uma ferramenta para a avaliação do sistema de produção pela perspectiva sustentável (FAULKNER; BADURDEEN, 2014).

Além de mapear os dados de produção, conforme o VSM tradicional apresentado por Rother e Shook (2003), o Sus-VSM agrega

dados de consumo de água, consumo de energia, consumo de matéria-prima e métricas sociais, sendo elas o índice de carga física (PLI) e a avaliação do ambiente por meio da avaliação de riscos elétricos, exposição a produtos químicos, sistemas pressurizados e componentes em alta velocidade.

Faulkner e Badurdeen (2014) apresentam uma aplicação do método em uma empresa fabricante de antenas parabólicas. Os autores apresentam o mapa atual do sistema de produção (Figura 3), porém, não são feitas sugestões para o estado futuro.

Figura 3- Mapa do estado atual com o método Sus-VSM



FONTE: Faulkner e Badurdeen (2014)

Fonte: Traduzido de Faulkner; Badurdeen (2014)

Já o trabalho de Brown, Amundson e Badurdeen (2014) foca na aplicação do método Sus-VSM em diferentes contextos de sistemas de manufatura, variando volume e variedade, a fim de testar sua versatilidade. Eles concluem que com o Sus-VSM é possível visualizar possíveis melhorias que levam a sustentabilidade em consideração e que o método é válido em diferentes configurações de sistemas de produção.

Brown, Amundson e Badurdeen (2014) afirmam que o Sus-VSM não pretende fornecer uma avaliação total de sustentabilidade, e sim identificar potenciais oportunidades de melhoria. Além disso, os autores alertam que ao decidir quais dados devem estar presentes no Sus-VSM é importante observar que a inclusão de vários tipos de indicadores

permite uma representação mais detalhada do sistema. Porém, se muitos indicadores estiverem presentes haverá muitas informações a serem processadas, o que pode prejudicar a característica de fácil visualização de um VSM.

Sparks e Badurdeen (2014) combinam o Sus-VSM, apresentado por Faulkner e Badurdeen (2014), com simulação para avaliar o desempenho de uma cadeia de suprimentos.

Vinodh, Ben Ruben e Asokan (2015) utilizaram o VSM em conjunto com o LCA. Esse trabalho, que baseia-se na perspectiva do tripé da sustentabilidade, se diferencia por avaliar categorias de impacto ambiental, ou seja, após a identificação do desperdício ambiental, este é quantificado em quatro categorias de impacto: pegada de carbono, eutrofização da água, acidificação do ar e energia total consumida. Além disso, no trabalho de Vinodh, Ben Ruben e Asokan (2015) foram feitas considerações sobre o descarte do produto estudado após seu uso. Os autores realizaram um estudo de caso em uma empresa fabricante de peças automotivas na Índia.

Vinodh, Ben Ruben e Asokan (2015) quantificaram os consumos de matéria-prima, energia, água e fluído refrigerante. Já o âmbito social do trabalho segue a metodologia apresentada por Faulkner e Badurdeen (2014), adicionando o fator de ruído, que foi calculado considerando a intensidade e o tempo de exposição.

Como resultados, Vinodh, Ben Ruben e Asokan (2015) identificaram a etapa gargalo do processo e realizaram atividades de 5S. Todo o processo foi balanceado e pequenos eventos *kaizen* foram realizados, além da quantidade de material em processamento (WIP) ter sido diminuída.

Também foram realizadas ações para a diminuição do consumo de matéria-prima e foram alcançadas reduções de consumo energético com ações como, por exemplo: otimização de aspectos de alimentação e velocidade de máquinas e mudança de trifásica para monofásica nas máquinas lavadoras. Para reduzir o consumo de água foram adotadas melhorias como, por exemplo, a instalação de níveis de controle e válvulas.

No âmbito social, após a avaliação das áreas que apresentam maiores riscos, os operadores foram instruídos a utilizar EPIs (Equipamentos de Proteção Individual). Além disso, cabos elétricos foram substituídos para minimizar os riscos elétricos e treinamentos de segurança foram periodicamente ministrados. Em relação ao PLI (Índice de Carga Física), foi detectado que o processo apresentava um nível de carga dentro do desejado, mesmo assim foi recomendado o uso de

empilhadeiras para carregar e descarregar componentes e carrinhos de transporte foram sugeridos para o deslocamento de peças no processo. Os resultados dos indicadores de impacto ambiental apresentaram valores que se encaixam dentro dos limites permitidos. Concluiu-se também que o descarte em aterro é a melhor opção para este produto.

A partir da avaliação dos 10 documentos que fizeram parte da RBS, foram selecionados 8 para compor o quadro com os principais métodos e indicadores (Quadro 2).

Quadro 2- Principais métodos e seus indicadores

Método	Indicador:	Autor
VSM adaptado	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de matéria-prima • Consumo de energia • Custos 	Lai et. al. (2008)
EVSM (<i>Environment Value Stream Mapping</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de água • <i>Lead time</i> 	Torres e Gati (2009)
SMM (<i>Sustainable Manufacturing Mapping</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de energia • Consumo de materiais • Emissões (no ar, na água) • <i>Lead time</i> • Logística (tipo de veículo, capacidade) • Custos (matéria-prima, energia, investimentos) • Social (número de horas de trabalho, absenteísmo, número de reclamações de clientes) 	Paju, <i>et al.</i> (2010)
Sus-VSM (<i>Sustainable Value Stream Mapping</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de água • Consumo de matéria-prima • Consumo de energia • Ergonomia Física • Riscos do ambiente de trabalho • <i>Lead time</i> 	Faulkner e Badurdeen (2014) Brown, Amundson e Badurdeen, (2014)
Sus-VSM para cadeia de suprimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de água • Consumo de matéria-prima • Consumo de energia • Emissões de gases do efeito estufa • Taxa de defeito de produtos • Proporção de contratações de pessoas da comunidade local 	Sparks e Badurdeen, (2014)

	<ul style="list-style-type: none"> • Proporção de diversidade racial e de gênero • Proporção de acidentes de trabalho • Produtos perigosos • Intensidade de treinamento dos colaboradores 	
ErgoVSM	<ul style="list-style-type: none"> • Posturas de trabalho • Força/peso • Variação física • Porosidade • Potencial ergonômico 	Jarebrant, <i>et al.</i> (2015)
VSM integrado com LCA	<ul style="list-style-type: none"> • Pegada de carbono • Eutrofização da água • Acidificação do ar • Energia total consumida • Custos • Consumo de matéria-prima • Consumo de fluido refrigerante • Carga física (PLI) • Ruído • Riscos ambientais • <i>Lead time</i> 	Vinodh, Ben Ruben e Asokan (2015)

Fonte: Elaborado pela autora (2015)

A revisão realizada neste artigo evidencia que há um crescente interesse por parte das indústrias na incorporação de conceitos de sustentabilidade na manufatura. A extensão ou adaptação do mapeamento de fluxo de valor se apresenta como um método eficaz na identificação de desperdícios que englobam os âmbitos econômico, ambiental e social.

Os trabalhos encontrados por meio da RBS foram publicados recentemente, o que comprova a relevância e atualidade do tema. Pode-se notar que os primeiros trabalhos realizados levavam em conta apenas os desperdícios ambientais, já os trabalhos a partir de 2010 incorporam o conceito de desperdício social, tema que vem ganhando espaço no ambiente de manufatura e que foi explorado pelo trabalho de Jarebrant *et al.* (2015).

Os trabalhos de Faulkner e Badurdeen (2014), Brown, Amundson e Badurdeen (2014) e Vinodh, Ben Ruben e Asokan (2015), que apresentam e aplicam o método Sus-VSM, foram considerados os mais completos por considerarem indicadores que abrangem o tripé da

sustentabilidade como um todo. Portanto, este método foi o escolhido para ser aplicado nesta pesquisa.

3 O MÉTODO SUS-VSM

Este capítulo apresenta o detalhamento do método Sus-VSM, apresentado por Faulkner e Badurdeen (2014). As etapas do método foram divididas em três seções: métrica econômica do método; métrica ambiental do método e métrica social do método, conforme o Quadro 3, que compara o Sus-VSM ao mapeamento de fluxo de valor tradicional.

Quadro 3- Desperdícios relacionados aos tipos de métricas no Sus-VSM

Tipo de desperdício	VSM tradicional	Sus-VSM	Tipo de métrica
Desperdício de tempo	+	+	Econômica
Desperdício de matéria-prima	-	+	Ambiental
Desperdício de água	-	+	Ambiental
Desperdício de energia	-	+	Ambiental
Riscos no ambiente de trabalho	-	+	Social
Ergonomia	-	+	Social

Fonte: Traduzido de Brown, Amundson e Badurdeen (2014)

3.1 MÉTRICA ECONÔMICA DO MÉTODO

A métrica econômica do Sus-VSM segue o mesmo formato proposto por Rother e Shook (2003), em que se busca identificar desperdícios de tempo. Para tanto devem ser realizadas medidas de tempos de produção, medidas de quantidades de materiais a serem processados, e o número de operadores.

3.2 MÉTRICA AMBIENTAL DO MÉTODO

O Sus-VSM trabalha com três métricas ambientais, sendo elas o consumo energético, o consumo de matéria-prima e o consumo de água.

A coleta de dados sobre o consumo energético durante o processamento pode ser feita por meio de medição direta, para tanto se torna necessária a utilização de um wattímetro (MAMEDE FILHO, 2010).

Os dados sobre o consumo de matéria-prima podem ser obtidos por meio de medição (do peso ou volume) dos materiais que são adicionados ou removidos do produto durante o processo.

Já o consumo de água no processo deve ser analisado fazendo-se a distinção entre a quantidade de água requerida pelo processo, ou seja, a quantidade de água planejada no projeto do produto para a realização do processo, a quantidade realmente utilizada e a quantidade de água perdida durante o processo, a qual corresponde à quantidade usada no processo e que não foi recuperada.

O Quadro 4 mostra a representação visual dos indicadores ambientais no mapa de fluxo de valor. O valor de consumo energético indicado acima da linha representa o consumo energético entre as etapas produtivas e o valor indicado dentro da forma oval representa o consumo energético da etapa produtiva. A quantidade de matéria-prima representada abaixo da linha tracejada representa o material retirado do produto, enquanto que a quantidade representada acima da linha tracejada representa o material adicionado ao produto, e abaixo são representadas as quantidades iniciais e finais de matéria-prima em cada processo. Já a representação do consumo de água é feita por um quadro indicando os valores de água requerida, usada e perdida.

Quadro 4- Representação visual das métricas ambientais

Indicador	Representação visual						
Consumo energético: consumo energético por unidade produzida, durante e entre os processos							
Consumo de matéria-prima: quantidade de matéria-prima utilizada por unidade produzida							
Consumo de água: quantidade de água usada por unidade produzida	<table><tr><th>Requerida</th><th>Usada</th><th>Perdida</th></tr><tr><td>53 litros</td><td>61 litros</td><td>23 litros</td></tr></table>	Requerida	Usada	Perdida	53 litros	61 litros	23 litros
Requerida	Usada	Perdida					
53 litros	61 litros	23 litros					

Fonte: Traduzido de Brown, Amundson E Badurdeen (2014)

3.3 MÉTRICA SOCIAL DO MÉTODO

As métricas sociais do método Sus-VSM são representadas pela avaliação de risco potencial do ambiente de trabalho e pela avaliação ergonômica dos operadores, por meio do índice de carga física (PLI).

O risco potencial do ambiente de trabalho deve ser avaliado em cada etapa do processo, em que deve-se atribuir notas de 1 a 5 para a exposição dos operadores a riscos elétricos, exposição a sistemas pressurizados, componentes a alta velocidade e exposição a produtos químicos.

Os ambientes que apresentam as maiores notas, ou seja, os que apresentam maiores riscos para o operador devem ser avaliados e melhorias devem ser feitas para que o risco seja diminuído.

Já o PLI deve ser medido por meio do questionário desenvolvido por Hollmann *et al.* (1999), em que 19 itens descrevem situações de trabalho e posteriormente tais situações são quantificadas e formam o índice PLI.

Estas situações de trabalho são subdivididas em cinco categorias de posturas de tronco, três de posição dos braços, cinco de posição das pernas e seis relacionadas ao levantamento de peso, sendo três com o tronco na vertical e três como o tronco inclinado.

As situações foram pontuadas de acordo com a classificação de 0 a 4, recebendo nota 0 as posturas “nunca” realizadas e nota 4 as realizadas “muito frequentemente”.

A partir dos dados coletados com o questionário e usando-se a Equação (3), pode-se estimar o PLI de cada posto de trabalho.

$$PLI = 0,974 \times T2 + 1,104 \times T3 + 0,068 \times T4 + 0,173 \times T5 + 0,157 \times A2 + 0,314 \times A3 + 0,405 \times L3 + 0,152 \times L4 + 0,152 \times L5 + 0,549 \times W_{u1} + 1,098 \times W_{u2} + 1,647 \times W_{u3} + 1,777 \times W_{i1} + 2,416 \times W_{i2} + 3,056 \times W_{i3} \quad (3)$$

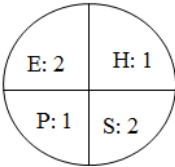
onde:

- PLI é o índice de carga física de trabalho;
- $T2$ é a pontuação para a postura com o tronco ligeiramente inclinado, a 5° para frente;
- $T3$ é a pontuação para a postura com o tronco fortemente inclinado, a 45° para frente;

- $T4$ é a pontuação para a postura com o tronco torcido,
- $T5$ é a pontuação para a postura com o tronco lateralmente torcido;
- $A2$ é a pontuação para a postura com um braço acima da altura do ombro;
- $A3$ é a pontuação para a postura com os dois braços acima da altura do ombro;
- $L3$ é a pontuação para a posição agachada;
- $L4$ é a pontuação para a posição ajoelhada em um ou dois joelhos com o tronco inclinado 15° para frente;
- $L5$ é a pontuação para caminhadas;
- W_{u1} é a pontuação para levantamento ereto de peso até 10 kg;
- W_{u2} é a pontuação para levantamento ereto de peso de 10 kg a 20 kg;
- W_{u3} é a pontuação para levantamento ereto de peso acima de 20 kg;
- W_{i1} é a pontuação para levantamento inclinado de peso até 10 kg;
- W_{i2} é a pontuação para levantamento inclinado de peso de 10 kg a 20 kg;
- W_{i3} é a pontuação para levantamento ereto de peso acima de 20 kg;

As etapas do processo que apresentam maiores índices devem ser avaliadas e melhorias devem ser feitas para que o índice diminua e o bem estar do trabalhado aumente. A representação visual dos indicadores sociais é apresentada no Quadro 5.

Quadro 5- Representação visual das métricas sociais

Indicador	Exemplo de representação visual
Índice de carga física (PLI): avaliação do trabalho físico baseado nas posturas praticadas e na frequência	PLI: 22,2
Ambiente de trabalho: Avaliação do risco no ambiente de trabalho devido a: E: Riscos elétricos; P: Exposição a sistemas pressurizados; S: Exposição de componentes em alta velocidade; H: Exposição a produtos químicos.	

Fonte: (traduzido de BROWN, AMUNDSON E BADURDEEN, 2014)

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO SUS-SVM

Este capítulo tem por objetivo descrever a aplicação do método Sus-VSM em uma empresa produtora de embalagens plásticas flexíveis. A aplicação do método foi realizada entre os meses de abril e novembro de 2015, e as visitas à empresa foram realizadas mensalmente, com duração de dois dias a cada visita. O Quadro 6 apresenta o cronograma dos encontros.

Quadro 6- Cronograma de aplicação do método Sus-VSM em uma empresa produtora de embalagens plásticas

Encontro	Envolvidos	Assuntos tratados
1º	Diretores e gerente de produção	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação do trabalho a ser realizado; • Apresentação dos conceitos da manufatura enxuta, da manufatura sustentável e do mapeamento de fluxo de valor sustentável; • Entendimento do processo produtivo e primeiro contato com os responsáveis pelos setores e operadores; • Escolha do produto a ser estudado.
2º	Responsável pelo PCP, responsável pelo compras, supervisor e operadores do setor de extrusão, supervisor e operadores do setor de impressão	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação dos conceitos da manufatura enxuta, da manufatura sustentável e do mapeamento de fluxo de valor sustentável; • Recebimento de dados do PCP e compras; • Acompanhamento do processo de extrusão, colagem de clichêse impressão;
3º	Supervisor e operadores dos setores de laminação, rebobinamento, embalagem e expedição	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação dos conceitos da manufatura enxuta, da manufatura sustentável e do mapeamento de fluxo de valor sustentável; • Acompanhamento do processo de laminação, rebobinamento, embalagem e expedição.
4º	Supervisores e operadores, responsável pela manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento da coleta de dados de produção e matéria-prima pelos operadores • Coleta de dados sobre o consumo energético dos processos de fabricação.
5º	Diretor e gerente	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação do mapa do estado atual,

	de produção	das melhorias propostas e discussões sobre o plano de implementação
6º	Diretor e gerente de produção	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão detalhada e implementação da primeira melhoria
7º	Equipe de trabalho TRF	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação da segunda melhoria; • Treinamento da equipe de trabalho sobre a TRF; • Aplicação da TRF na operação de impressão
8º	Equipe de trabalho para redução do desperdício de matéria-prima	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão detalhada da terceira melhoria;

Fonte: (elaborada pela autora)

O grupo envolvido na aplicação do método foi composto pelo gerente de produção, por um supervisor de produção, pela responsável pela qualidade e pela pesquisadora.

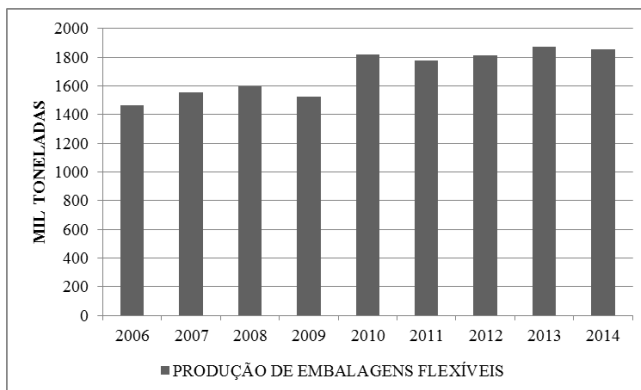
Nos próximos tópicos a indústria de embalagens plásticas flexíveis é retratada, em seguida é realizada a apresentação da empresa e seu sistema produtivo é detalhado. Na sequência são apresentados os detalhes sobre a escolha do produto estudado e, finalmente, os mapas do estado atual e futuro são apresentados.

4.1 A INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS

Embalagens plásticas flexíveis são aquelas cujo formato depende da forma física do produto acondicionado e cuja espessura é inferior a 250 μm (ABIEF, 2015).

No ano de 2014 foram produzidas 1,857 milhões de toneladas de embalagens plásticas flexíveis no Brasil (Figura 4), resultando em um faturamento de 14,7 bilhões de reais (ABIEF, 2015).

Figura 4- Produção de embalagens flexíveis no Brasil



Fonte: Abief (2015)

De acordo com a ABIEF (2015), a participação das embalagens flexíveis na transformação do plástico alcança 30%. Este setor da indústria está atento às questões ligadas à sustentabilidade, sendo já possível a produção de embalagens flexíveis a partir de materiais considerados sustentáveis, como é o caso do chamado “plástico oxibiodegradável” (WILLOW RIDGE PLASTICS, 2015). Porém, a Anvisa (1999, 2010) não regulamenta a utilização deste tipo de material para embalagens de alimentos, conforme a Resolução nº 105, de 19 de maio de 1999 e Resolução nº 51, de 26 de novembro de 2010. A ABNT 14937 restringe a utilização de produtos contendo aditivos para acelerar a degradação do filme (ABNT, 2010).

4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa participante da pesquisa-ação foi fundada em 1967 e, atualmente, ela possui cerca de 80 funcionários. São produzidas embalagens plásticas flexíveis para alimentos, higiene, limpeza, indústria, lojas de departamentos, material promocional, *pet food*, saúde e supermercados (Figura 5). São processadas 130 toneladas de produto por mês, sendo o principal material processado o polietileno de baixa densidade.

Figura 5- Exemplo de produtos da Empresa I

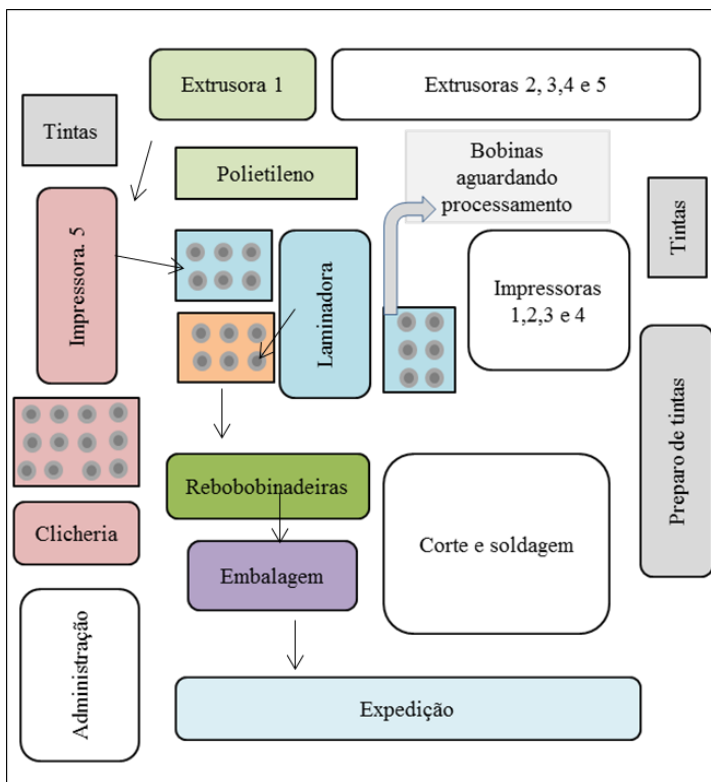


Fonte: (elaborada pela autora)

Os principais clientes desta empresa se situam no Rio Grande do Sul e seus principais fornecedores são de São Paulo e do Paraná.

Os processos produtivos da empresa compreendem: extrusão, impressão, laminação, rebobinamento, corte e soldagem. Estes processos estão organizados em forma de leiaute funcional (Figura 6), em que processos similares são localizados próximos uns dos outros (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Figura 6- Leiaute da Empresa I



Fonte: (elaborada pela autora)

4.2 SELEÇÃO DO PRODUTO ESTUDADO

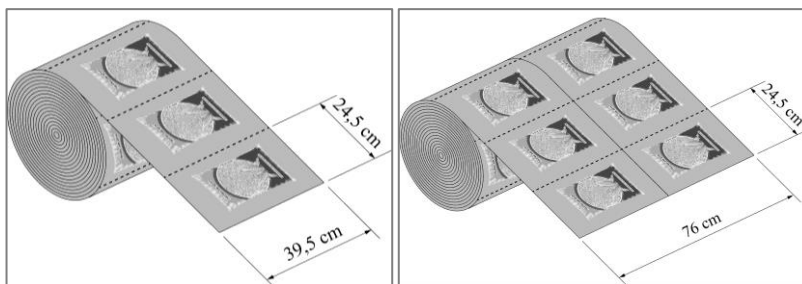
Após a apresentação dos conceitos do pensamento enxuto e da manufatura sustentável, foi decidido, juntamente com a direção da empresa, que seria estudada a família de produtos laminados, mais especificamente o processo de fabricação de bobinas de filme laminado para embalagens de 1kg de alimentos. A escolha do produto a ser estudado levou em consideração o fato deste produto ser representativo no volume de produção, correspondendo em média a 15 toneladas por mês.

Os consumidores destas bobinas de filme são beneficiadores de alimentos, principalmente de arroz e feijão. Para este produto, existem duas possibilidades para a produção:

1. A partir de bobina do tipo “simples”: bobinas com largura de 39,5 cm, que resultarão em uma embalagem a cada 24,5 cm de comprimento (Figura 8a);

2. A partir de bobina do tipo “dupla”: bobinas com largura de 76 cm, que resultarão em duas embalagens a cada 24,5 cm (Figura 8b).

Figura 7- (a) Ilustração bobina simples, (b) Ilustração bobina dupla



Fonte: (elaborada pela autora)

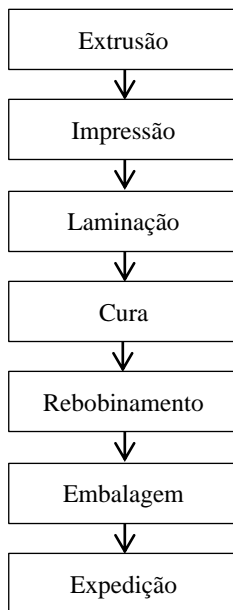
4.3 O PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo de bobinas de filme laminado para embalagens de 1 kg se inicia com o processo de extrusão e, em seguida, a bobina de filme passa para o processo de impressão. As etapas seguintes são a laminação e a cura, seguidas da etapa de rebobinamento. Finalmente o produto passa pelas etapas de embalagem e expedição.

Seguindo este mesmo fluxo, e utilizando a mesma estrutura, outros produtos também são produzidos.

A Figura 8 apresenta o fluxo do processo, que constitui o limite do mapeamento efetuado neste trabalho.

Figura 8- Fluxo da produção de bobinas de filme laminado



Fonte: (elaborada pela autora)

A compra de matéria-prima e o processo de extrusão trabalham com o sistema *make-to-stock*, em que os produtos são fabricados a partir de previsão de demanda (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Já os processos seguintes trabalham com o sistema *make-to-order*, em que a produção só começa após a confirmação do pedido pelo cliente (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Todo o filme descartado durante o processo de produção por problemas de qualidade ou mesmo por perdas inevitáveis no processo é reutilizado. Quando o filme descartado não recebeu ainda a tinta da impressão ou a cola na laminação, este é utilizado como matéria-prima na extrusão. Caso o filme descartado contenha tinta ou cola, este é destinado a uma recicladora.

4.3.1 Recebimento e estocagem de matéria-prima

A matéria-prima para a fabricação das bobinas de filme laminado é composta por: polietileno linear; polietileno de baixa densidade; deslizante; aditivo; tinta, solvente; cola e álcool.

Dentre estes componentes, os mais significativos em relação a volume e custo são o polietileno linear, que compõe 79% do produto, e o polietileno de baixa densidade, que compõe 19% do produto (Figura 9). Portanto, esses materiais são contabilizados para a construção do mapa do estado atual.

Figura 9- Polietileno linear e polietileno de baixa densidade



Fonte: (elaborada pela autora)

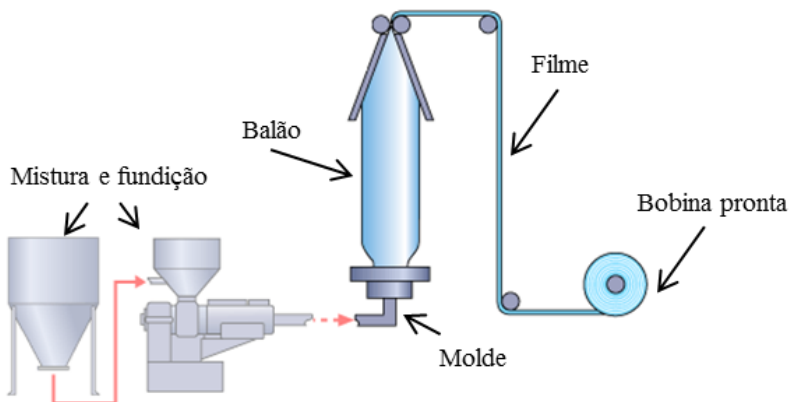
O estoque é conferido diariamente, por meio do método “vá ver” (ROTHER; SHOOK, 2003), e seu recebimento é diário. Aproximadamente 10% de toda a matéria-prima recebida é destinada à produção do produto em estudo.

Durante o recebimento são conferidas as quantidades e as etiquetas dos produtos. O estoque dos polietilenos é localizado junto ao setor de extrusão, evitando transportes desnecessários.

4.3.2 Extrusão por sopro

Este processo da produção é constituído pela mistura da matéria-prima, fundição da mesma e extrusão vertical do material através de um molde (Figura 10).

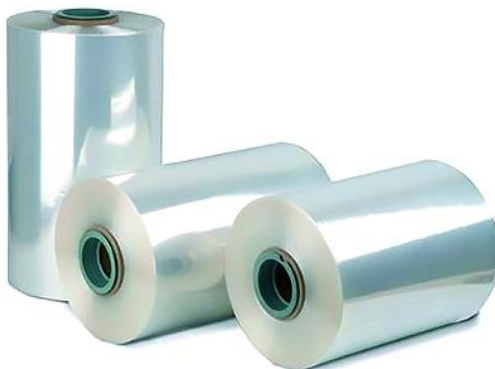
Figura 10- Processo de extrusão por sopra



Fonte: Adaptado de Eastman (2015)

Para o caso do produto estudado, os produtos finais desta etapa são sempre bobinas de filme transparente (Figura 11) com espessura de 0,3 mm, com 39,5 cm e 76 cm de largura, para bobinas simples e duplas respectivamente. Estas bobinas podem ser utilizadas para qualquer cliente que solicite bobinas de filme laminado para embalagens de 1 kg.

Figura 11- Exemplo de bobinas de filme transparente



Fonte: Asterplas (2015)

O controle do processo consiste na verificação da espessura e da largura do filme, que são determinadas pela variação de velocidade de extrusão.

Nesta etapa, os defeitos mais corriqueiros são a ocorrência de falhas no filme, causadas por descontinuidades na formação do balão de ar, e largura fora do padrão.

No processo de extrusão os equipamentos funcionam continuamente, ou seja, 24 horas por dia. Não são realizadas paradas entre os turnos, uma vez que o consumo energético para aquecer o equipamento e o desperdício de matéria-prima são muito altos. São realizadas paradas apenas para manutenção preditiva.

Durante a realização de troca de pedido, para ajustar largura e espessura, a máquina continua em funcionamento, com velocidade reduzida.

4.3.3 Impressão

É nesta etapa que o produto recebe a arte desejada pelo cliente. Este processo, chamado de flexografia, corresponde a uma forma de impressão a partir de placas poliméricas com grafismo em alto relevo (FIESP, 2003). Estas placas são denominadas “clichês”, os quais são fixados em camisas. A Figura 12 ilustra a fixação de um clichê em uma camisa.

Figura 12- Ilustração de fixação de clichê em camisa



Fonte: Scarpeta (2015)

As camisas são acopladas à máquina, e o número de camisas equivale ao número de cores da impressão. Neste estudo está sendo analisado o processo que passa pela impressora 5, que tem capacidade para imprimir até oito cores.

Cada cliente possui uma pasta contendo os clichês necessários para a impressão de sua arte. A colagem dos clichês nas camisas é realizada no setor de clicheria.

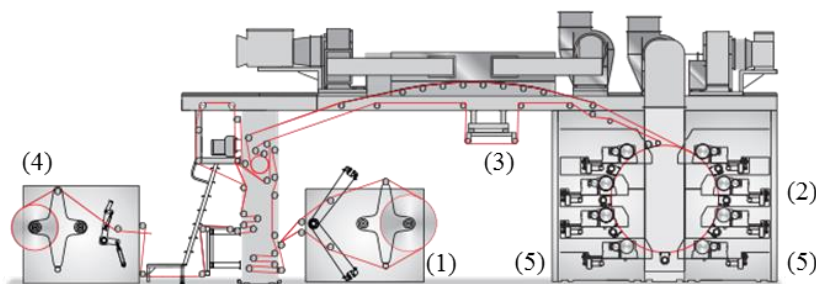
Outra etapa pertencente ao processo de impressão é a preparação das tintas. Esta etapa, que tem como objetivo preparar a coloração das tintas de acordo com a arte do cliente, é realizada por uma colorista em uma ambiente próprio para a atividade.

Para a preparação de tintas deve-se verificar a composição da cor, registrada em um programa computacional específico, em seguida é realizada a mistura desta composição, então, é realizado um pré-teste de cores.

A figura 13 ilustra o esquema do processo de impressão, conforme descrito a seguir:

1. Desbobinador, responsável por fornecer o filme liso a ser impresso;
2. Grupo impressor, composto por camisas, facas, anilox e cilindro central, responsável pela impressão.
3. Sistema de secagem, responsável pela secagem da tinta;
4. Rebobinador, responsável por rebobinar o material impresso.
5. Reservatório de tintas.

Figura 13- Esquema da impressora flexográfica.



Fonte: Flexotech (2015)

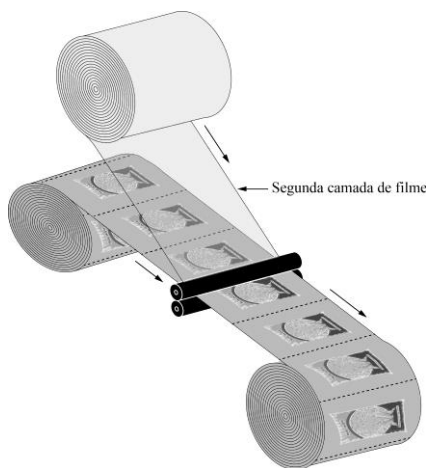
No controle do processo de impressão é retirada uma amostra impressa, a fim de se comparar visualmente o que está sendo produzido com o padrão adotado para o cliente. São verificadas as cores, o encaixe da arte e a posição da marca chamada de “passe da fotocélula”, marca esta que deve estar corretamente posicionada para que a máquina embaladora do cliente possa funcionar perfeitamente.

Cada cliente possui uma pasta com uma amostra de filme impresso em que estão expostas as máximas variações de cores permitidas.

4.3.4 Laminação

O processo de laminação tem como objetivo tornar o filme mais brilhoso e com melhor acabamento. Esta etapa consiste na colagem de uma segunda camada de filme transparente em cima do filme com a impressão. A figura 14 ilustra o princípio da laminação.

Figura 14- Representação esquemática da laminação



Fonte: (elaborada pela autora)

O controle do processo nesta etapa consiste na verificação da viscosidade da cola, e no controle visual do filme sendo laminado a fim de identificar possíveis falhas como a ocorrência de estrias no filme.

4.3.5 Cura

A etapa de cura tem como objetivo secar a cola aplicada no processo de laminação. Nesta etapa as bobinas ficam aguardando o tempo necessário para a secagem, que pode apresentar variação de acordo com as condições climáticas do dia.

Nesta etapa as bobinas ficam posicionadas sobre estrados ao lado do processo de laminação.

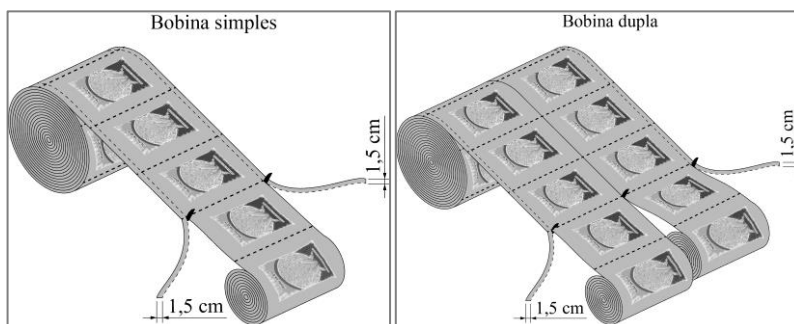
4.3.6 Rebobinamento

O processo de rebobinamento é o responsável por dar o acabamento de borda ao produto.

Para o caso de bobina do tipo simples, o filme passa entre duas navalhas reguladas para resultar em um filme de 36,5 cm de largura. A borda retirada do filme, chamado de fitile, deve ter largura de 1,5 cm, (Figura 16), caso esta borda seja maior é identificado um desperdício de material, ou seja, o filme foi produzido com uma largura maior do que a largura mínima necessária.

Para o caso de bobina do tipo dupla, o filme é cortado por três navalhas, resultando em duas bobinas de filme com largura de 36,5 cm cada (Figura 15). Nota-se que a quantidade de fitile descartado pelo processo utilizando bobina do tipo dupla é menor quando comparado à mesma quantidade de produto obtido usando-se bobinas do tipo simples.

Figura 15- Rebobinamento: (a) bobina simples, (b) bobina dupla



Fonte: (elaborada pela autora)

O controle desta etapa do processo consiste na verificação visual da bobina que está sendo rebobinada, sendo que o corte da borda deve estar alinhado à marcação impressa do passe da fotocélula. Esta marcação realizada pela impressão é que guia a máquina empacotadora que utilizará o filme como embalagem. Outra exigência demandada pela máquina empacotadora é que cada bobina seja finalizada ao atingir em média 45 kg.

4.3.7 Embalagem

Assim que cada bobina é finalizada pelo rebobinamento, esta é depositada em uma bancada para que seja embalada. Esta etapa do processo consiste na pesagem das bobinas, embalagem individual, etiquetagem e disposição das mesmas nos paletes.

Ao término do processo de embalagem, os paletes estão prontos para o envio para o cliente final. A expedição é realizada por transportadoras que coletam os produtos diariamente. Durante o tempo de espera os produtos acabados ficam armazenados em uma área específica destinada ao setor de expedição.

4.4 MAPA DO ESTADO ATUAL

Esta subseção apresenta a construção do mapa do estado atual. Conforme os indicadores apresentados no Quadro 2, na seção 2.4, os pertencentes ao método Sus-VSM são: consumo energético; consumo de água; consumo de matéria-prima; tempo de atravessamento; ergonomia física e riscos ambientais.

Neste mapeamento foram adotados os indicadores pertencentes ao Sus-VSM, porém, como não há utilização de água no processo produtivo da empresa estudada, este indicador não foi utilizado neste trabalho.

Os dados para a construção do mapa do estado atual foram coletados no mês de julho de 2015. Tais dados foram submetidos ao Critério de *Chauvenet*, a fim de realizar a exclusão de valores atípicos (*outliers*) (TAYLOR, 2012).

4.4.1 Mapa do estado atual: contexto econômico

Toda a produção de filme laminado para embalagens de 1kg do mês de julho foi monitorada, totalizando 5 ordens de produção para a extrusão e 16 ordens de produção a partir da impressão. Os operadores de cada etapa do processo foram orientados sobre a forma de coleta dos dados (Apêndice A).

O objetivo desta etapa foi identificar o tempo médio de atravessamento para cada quilograma de produto entregue ao cliente, assim como identificar os pontos de espera.

A empresa trabalha com turnos diferenciados em cada etapa do processo. Os horários de trabalho, o número de operadores e o tempo disponível durante um dia são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Distribuição de turnos e operários por processo.

Etapa	Horário e número de operadores			Tempo disponível
Extrusão	05:00-13:00 2 operadores	13:00-21:00 2 operadores	21:00-05:00 2 operadores	1440 min
Impressão	22:20-07:30 2 operadores		07:30-17:30 2 operadores	1200 min
Laminação	22:20-07:30 1 operador (intervalo 72 min)		07:30-17:30 1 operador (intervalo 72 min)	1006 min
Cura		07:30-17:30 1 operador (intervalo 72 min)		528 min
Rebobinamento		07:30-17:30 2 operadores (intervalo 72 min)		528 min
Embalagem		07:30-17:30 1 operador (intervalo 72 min)		528 min
Expedição		07:30-17:30 1 operador (intervalo 72 min)		528 min

Fonte: (elaborada pela autora)

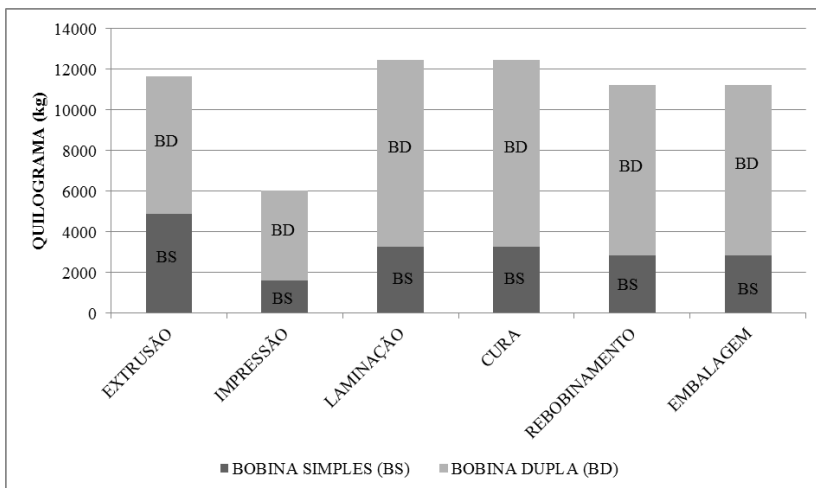
No mês de julho foram processadas cinco ordens de produção (OP's) no setor de extrusão, resultando na produção de 11.658 kg de filme laminado, também foram adquiridos 12.000 kg de bobinas prontas.

Nos processos seguintes foram processadas 16 OP's, resultando em 11.217 kg de produto entregue aos clientes.

A Figura 16 apresenta as quantidades produzidas, em cada etapa do processo, no mês de julho.

Os processos produtivos da empresa trabalham de forma empurrada, que segundo Rother e Shook (2003): “significa que um processo produz alguma coisa independentemente das necessidades reais do processo cliente seguinte e ‘empurra’ para frente”.

Figura 16- Quantidades produzidas por processo em julho de 2015



Fonte: (elaborada pela autora)

Nota-se que a quantidade de material impresso representa aproximadamente a metade da quantidade de material laminado. Isto ocorre porque o filme impresso tem 0,3 mm de espessura, enquanto o filme laminado sai do processo medindo 0,6 mm decorrente da adição da segunda camada de filme.

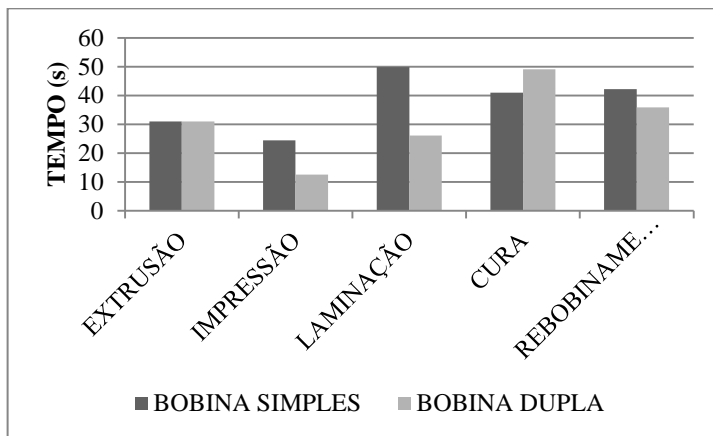
A quantidade de filme rebobinado é menor que a quantidade laminada porque nesta etapa ocorre retiradas de material, tanto por necessidade do processo (retirada de fitile), quanto por perdas evitáveis, como por exemplo defeitos de fabricação.

Também pode-se perceber que a quantidade produzida a partir de bobinas simples é menor do que a quantidade produzida a partir de bobinas duplas.

A partir dos dados coletados determinou-se o tempo médio de processamento em cada etapa do processo para entregar 1 kg de produto ao cliente, além dos tempos de espera entre os processos.

A Figura 17 apresenta os tempos médios de processamento para as etapas que envolvem transformação de matéria-prima.

Figura 17- Tempo de processamento para entregar 1 kg de produto ao cliente



Fonte: (elaborada pela autora)

Pode-se notar que na maioria das etapas o tempo de processamento é menor quando a fabricação é a partir de bobinas duplas.

A etapa de cura foi a única em que produzir a partir de bobinas duplas levou mais tempo. A empresa não tem estipulado um tempo padrão para esta etapa: os operadores conferem visualmente se a bobina está pronta para o próximo processo, pode ocorrer de uma bobina permanecer mais tempo do que o realmente necessário.

O tempo de atravessamento do processo encontrado foi de 14,2 dias. Já o tempo de processamento total encontrado para o processo produtivo foi de 192 segundos quando feito a partir de bobinas duplas e 225 segundos quando feito a partir de bobinas simples.

4.4.2 Mapa do estado atual: contexto ambiental

A primeira métrica ambiental considerada foi o consumo energético, o qual foi considerado apenas durante o processamento, já que o grupo de trabalho decidiu a priori não considerar o consumo energético entre as etapas produtivas.

O consumo energético dos processos foi medido com a utilização de um wattímetro (Figura 18), e cada equipamento foi medido individualmente. A Tabela 2 apresenta a síntese dos dados energéticos coletados.

Figura 18- Wattímetro usado na medição da potência dos equipamentos



Fonte: (elaborada pela autora)

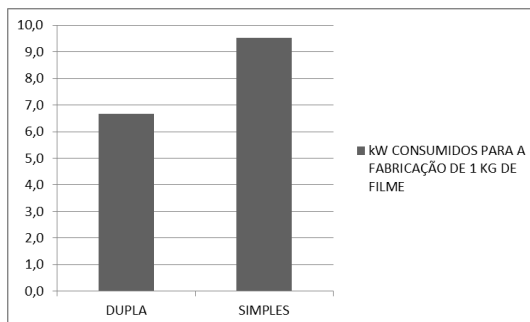
Tabela 2- Consumo energético por kg produzido

Etapa	Potência medida (kW)
Extrusão	355
Impressão	320
Laminação	290
Rebobinamento	30

Fonte: (elaborada pela autora)

Não foram detectadas diferenças de potência nas medições entre processos que produziam a partir de bobinas simples ou duplas, portanto foi realizada a comparação entre o consumo energético durante o processamento de bobinas simples e duplas, para a fabricação de 1 kg de produto (Figura 19).

Figura 19- Consumo energético utilizando bobinas simples e duplas

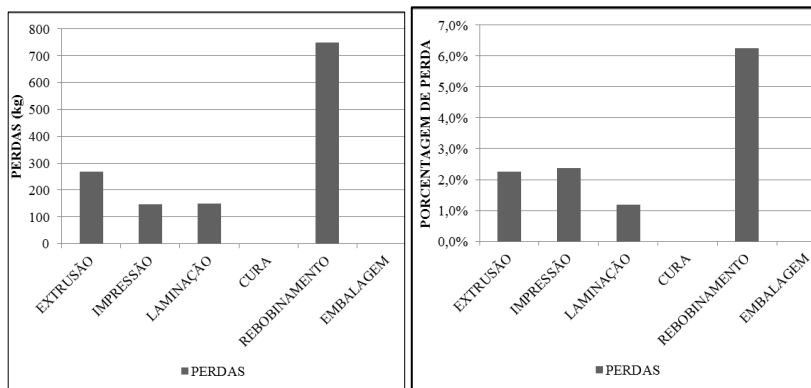


Fonte: (elaborada pela autora)

A segunda métrica ambiental considerada foi o consumo de matéria-prima. Foi decidido, em conjunto com o grupo de trabalho, que a melhor forma para realizar a análise da matéria-prima desperdiçada seria por meio da medição direta do material descartado em cada etapa do processo. Portanto, o mapa do estado atual não apresentará as entradas e saídas de material como é proposto pelo método Sus-VSM, e sim será apresentado somente o valor referente à quantidade desperdiçada no processo.

No mês de julho foram descartados 1313,7 kg de matéria-prima durante a produção do produto em estudo. A Figura 20 apresenta as quantidades perdidas em cada etapa e a porcentagem de perda em relação ao total de material processado em cada etapa.

Figura 20- (a) Quilogramas perdidos em cada etapa; (b) porcentagem de perdas



Fonte: (elaborada pela autora)

A etapa de rebobinamento foi a que apresentou o maior valor de perda de matéria-prima, correspondendo a 6,3% da quantidade de filme processado nesta etapa, seguida da etapa de impressão, que apresentou 2,4% de perdas e da etapa de extrusão, que apresentou 2,3% de perdas. A etapa de laminação teve 1,2% de perda e as etapas de cura e embalagem não apresentaram perdas.

4.4.3 Mapa do estado atual: contexto social

Dentro do contexto social do método, foi primeiramente realizada a avaliação de riscos no ambiente produtivo. A Tabela 3 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 3- Resultado da avaliação de riscos ambientais

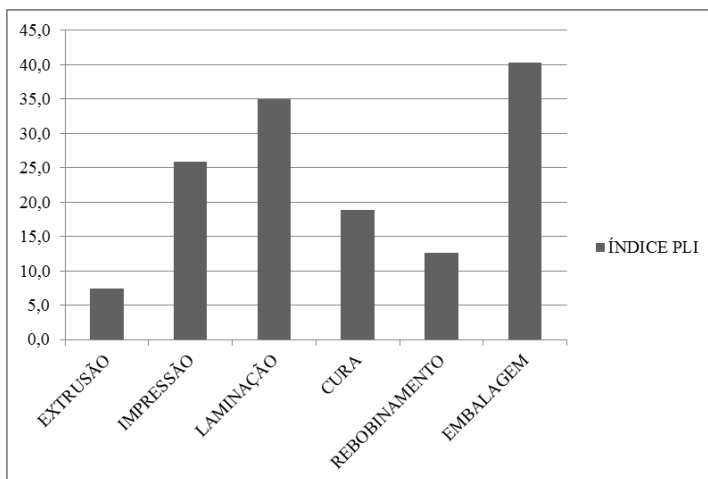
	Riscos elétricos	Riscos químicos	Riscos por sistemas pressurizados	Riscos por componentes em alta velocidade
Extrusão	2	2	1	1
Impressão	2	5	1	1
Laminação	2	5	1	1
Cura	1	1	1	1
Rebobinamento	2	1	1	1
Embalagem	1	1	1	1

Fonte: (elaborada pela equipe)

Nota-se que os riscos químicos, nas etapas de impressão e laminação, são os mais significativos.

Em seguida, foi aplicado o questionário (referente ao PLI - Índice de Carga Física) a todos os operadores que participam do processo produtivo sendo estudado (Apêndice D). Nos casos em que mais de um operador trabalha na mesma etapa do processo, o questionário foi preenchido em conjunto. A Figura 21 apresenta os índices PLI em cada etapa do processo produtivo.

Figura 21- Índices PLI nas etapas do processo produtivo



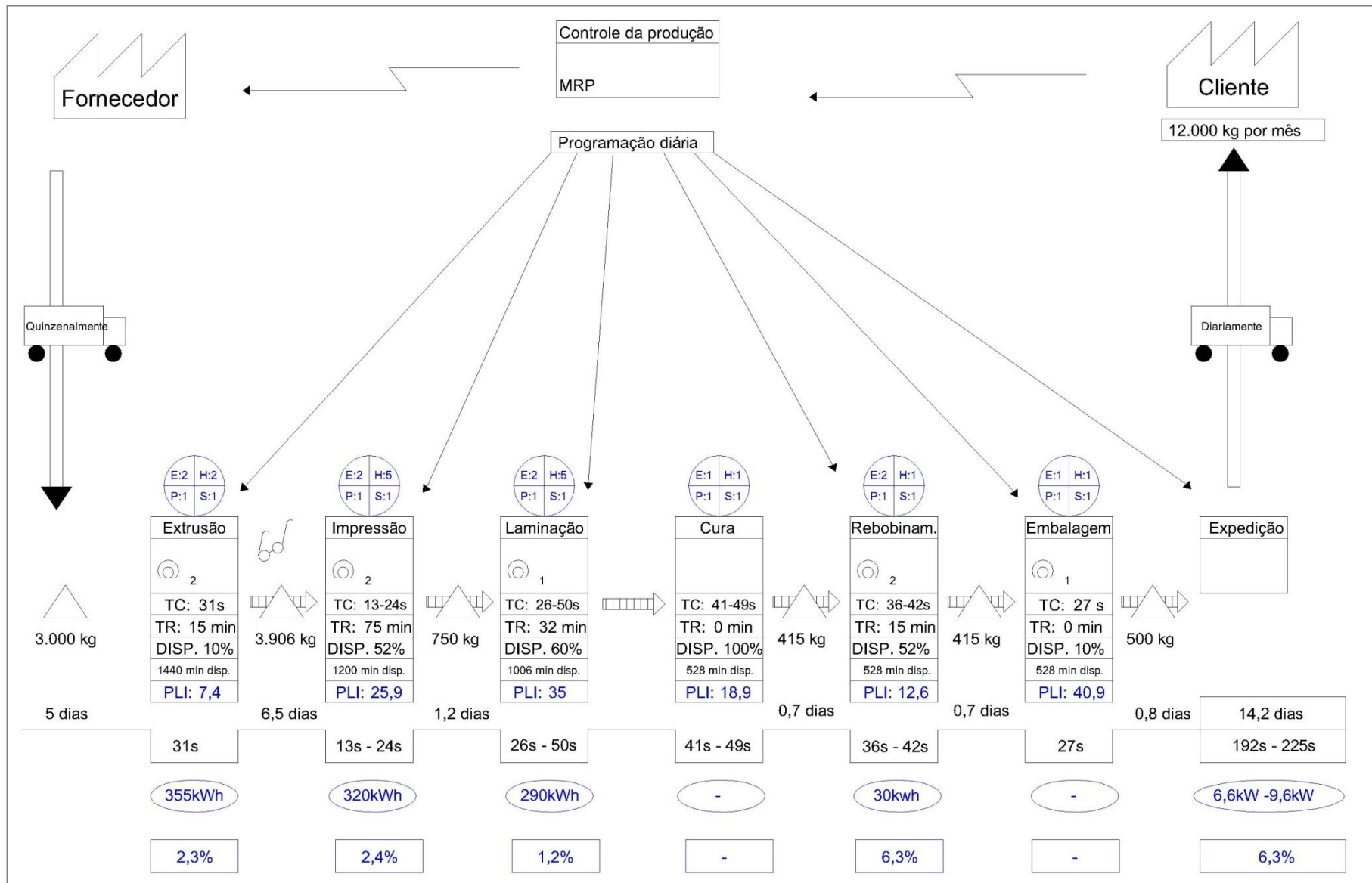
Fonte: (elaborada pela autora)

O setor de embalagem e expedição possui o maior índice PLI, e isto ocorre porque o processo de embalagem das bobinas nos paletes é realizado manualmente. Em seguida tem-se os setores de laminação e impressão, respectivamente.

A atividade mais representativa para o PLI nas etapas de laminação e impressão é o *setup*. A máquina impressora é mais nova e moderna que a máquina laminadora, e isto reflete na diferença de valores dos índices encontrados.

Finalmente, após a conclusão da coleta e tratamento dos dados da situação atual do processo, o mapa do estado atual foi construído, contendo o fluxo de materiais e informações, além do consumo energético, perdas de matéria-prima, índice PLI e riscos ambientais (Figura 22).

Figura 22- Mapa do estado atual



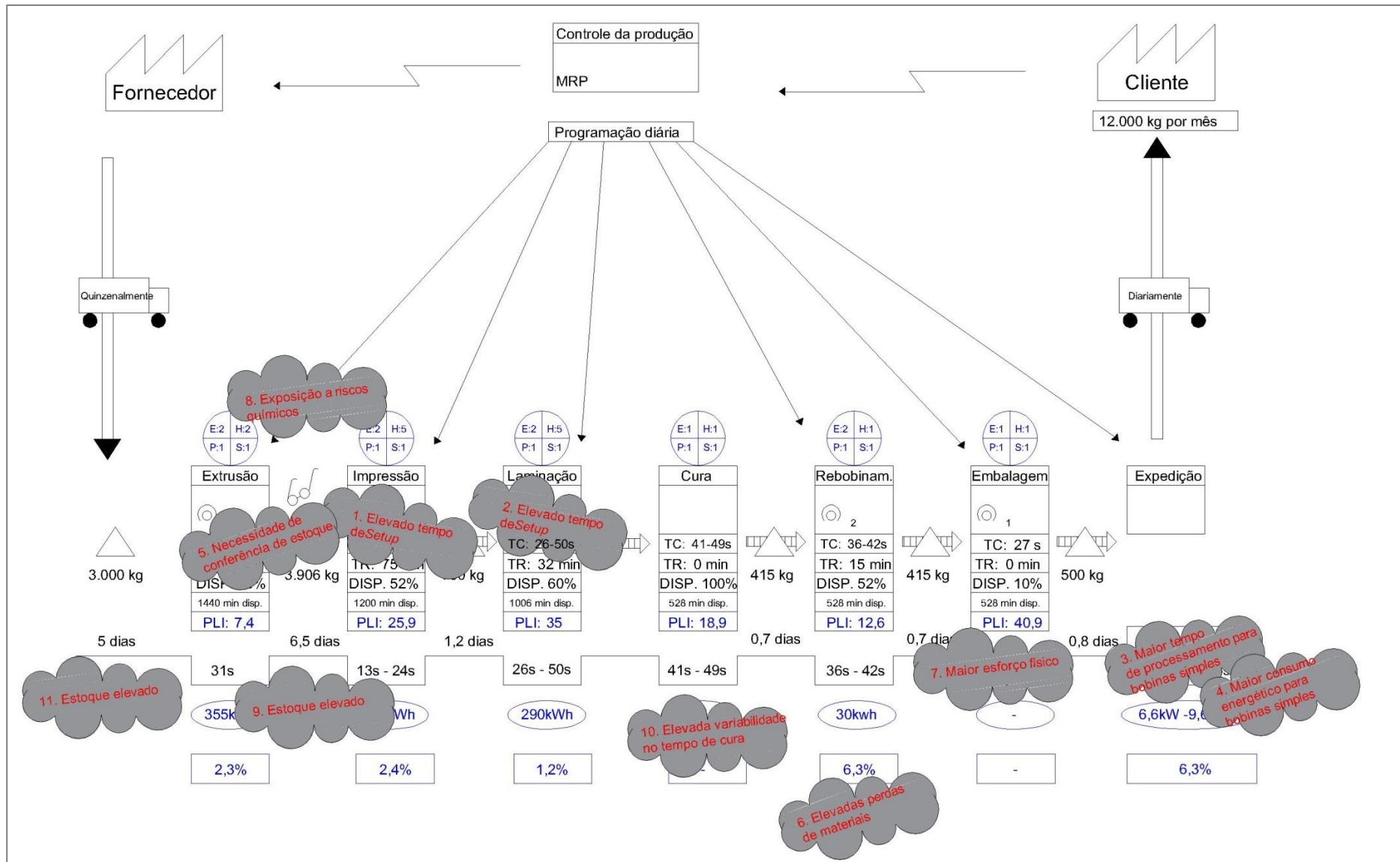
Fonte: (elaborada pela autora)

4.5. AVALIAÇÃO DO MAPA DO ESTADO ATUAL

A avaliação do mapa do estado atual foi realizada pelo grupo de trabalho e teve como objetivo identificar os principais pontos de desperdício no processo produtivo, conforme listado abaixo e apresentado na Figura 23.

1. Elevado tempo de *setup* na etapa de impressão;
2. Elevado tempo de *setup* na etapa de laminação;
3. Maior tempo de processamento para a fabricação a partir de bobinas simples;
4. Maior consumo energético para a fabricação a partir de bobinas simples;
5. Necessidade de conferência de estoque diário e emissão de ordens de fabricação no estoque de bobinas lisas;
6. Elevadas perdas de materiais no processo, principalmente na etapa de rebobinamento, com 6,3% de material descartado;
7. Maior esforço físico no setor de embalagem;
8. Exposição a riscos químicos nos setores de impressão e laminação
9. Elevado estoque de bobinas lisas;
10. Elevada variabilidade no tempo de cura;
11. Elevado estoque de matéria prima (Polietileno Linear de Baixa Densidade e Polietileno Linear).

Figura 23- Avaliação do mapa do estado atual



Fonte: (elaborada pela autora)

4.5. MAPA DO ESTADO FUTURO

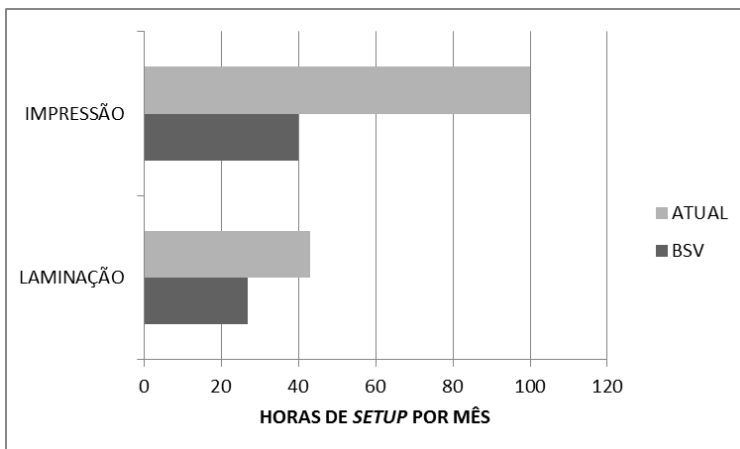
No desenvolvido o mapa do estado futuro buscou-se projetar o estado futuro almejado pela empresa, ou seja, o BSV (*Blue Sky Vision*) para o processo.

Para isso a empresa busca diminuir o estoque de matéria-prima aguardando processamento, possibilitando reduzir o tempo de atravessamento (*lead time*). A criação de um supermercado no estoque de bobinas lisas e um no estoque de polietileno também é um objetivo para a situação futura almejada e, desta forma, elimina-se a necessidade de conferência diária de estoque. Além disso, a produção das próximas etapas será regida pelo método FIFO (*First in First Out*)

Os tempos de *setup* da etapa de impressão e laminação devem levar no máximo 30 minutos e 20 minutos respectivamente. Esta melhoria atinge todos os outros produtos processados nessas etapas, pois o procedimento de *setup* é o mesmo independente do produto.

Em média são produzidos 80 pedidos por mês e, portanto, com a redução do tempo de *setup* pode-se economizar 60 horas de máquina parada por mês na etapa de impressão, e 16 horas de máquina parada por mês na etapa de laminação (Figura 24).

Figura 24- Redução de horas de máquina parada por mês

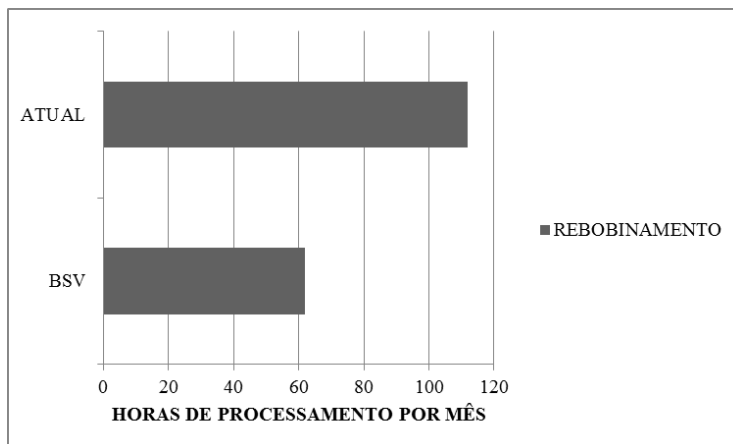


Fonte: (elaborada pela autora)

O tempo de processamento no rebobinamento deve sofrer uma redução (Figura 25). Intuitivamente esperava-se que o tempo de

rebobinamento para bobinas duplas fosse muito menor do que o tempo de processamento para bobinas simples. Porém, a partir das tomadas de tempo observou-se que a diferença de tempo correspondia a apenas 14%. Realizando-se uma análise detalhada nesta etapa constatou-se que, por limitações da máquina, causadas por falta de manutenção, o processamento com bobinas duplas era mais lento.

Figura 25- Redução de horas de processamento por mês



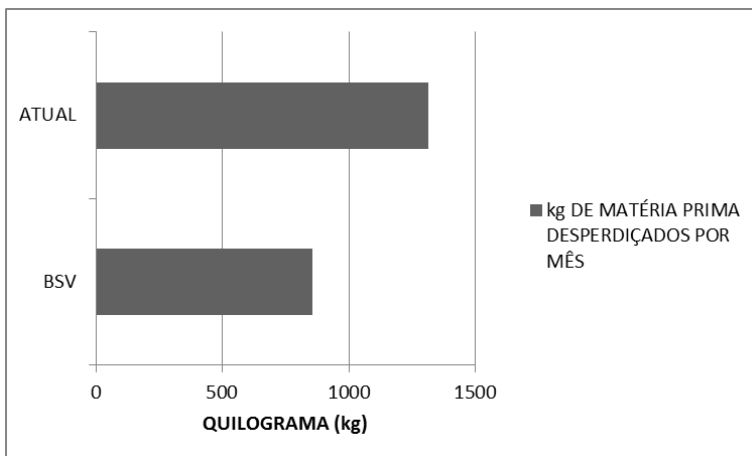
Fonte: (elaborada pela autora)

Atualmente está ocorrendo uma grande variação de tempo na etapa de cura, sendo que muitas bobinas ficam mais tempo no processo do que o necessário. O tempo de cura deverá diminuir no estado futuro, com a correção destas variações de tempo.

Os tempos de processamento e consumo energético na impressão e laminação também deverão ser reduzidos.

Nas etapas em que há perdas de matéria-prima durante o processamento, estas não devem ultrapassar 2% do total de matéria-prima processada, que corresponde a uma redução de 460 kg de matéria-prima descartada por mês (Figura 26). Para tanto deve-se implementar pontos de inspeção ao longo do processo.

Figura 26- Redução de perda de matéria-prima

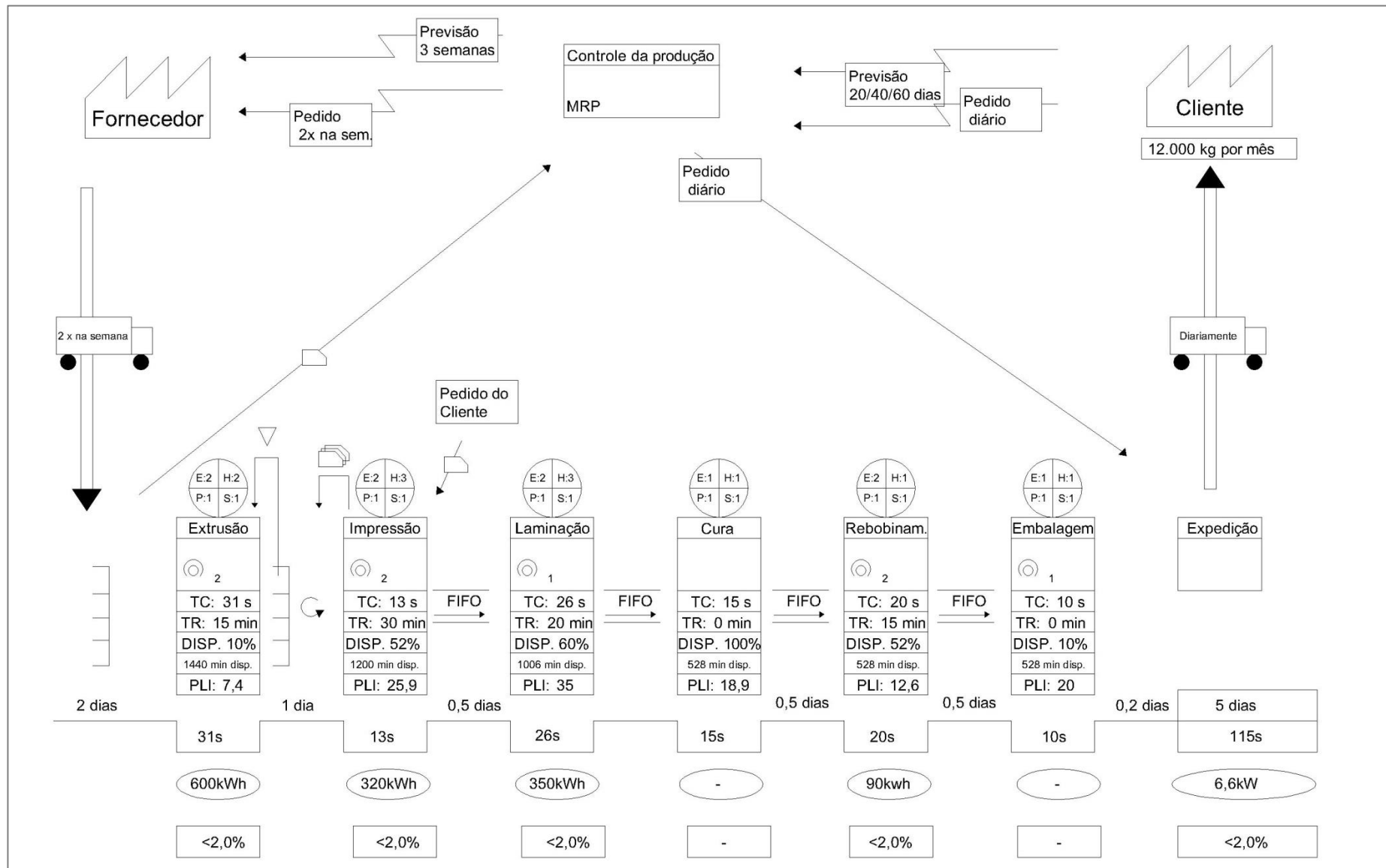


Fonte: (elaborada pela autora)

No estado futuro almejado (Figura 27) pretende-se também reduzir a exposição a riscos químicos nos setores de impressão e laminação. Estes setores encontram-se de acordo com as Normas Regulamentadoras NR09: Programa de Prevenção de Riscos Ambientais e NR15: Atividades e Operações Insalubres (MTE, 2015), porém, ainda existem possibilidades de melhorias.

O índice de carga física no setor de embalagem deverá ser reduzido por meio da automatização do processo.

Figura 27- Mapa do estado futuro



Fonte: (elaborada pela autora)

5. IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS

Após a elaboração do mapa do estado futuro, foi realizada uma reunião com a diretoria da empresa a fim de decidir quais pontos fariam parte do plano de implementação e qual seria a ordem de prioridade (Quadro 7).

Quadro 7- Melhorias propostas e ordem de prioridade

Ordem de prioridade	Ponto a ser melhorado	Objetivo	Prazo
1°	Maior tempo de processamento e maior consumo energético na fabricação a partir de bobinas simples	Estabelecer um critério para a decisão sobre a utilização de bobinas simples ou duplas	Outubro/2015
2°	Elevado tempo de <i>setup</i> na etapa de impressão	Chegar ao tempo de troca de 30 minutos por meio da TRF	Novembro/2015
3°	Elevado tempo de <i>setup</i> na etapa de laminação	Chegar ao tempo de troca de 20 minutos por meio da TRF	Janeiro/2016
4°	Elevadas perdas de materiais	Ter no máximo 2% de perdas	Até abril/2016
5°	Necessidade de conferência de estoque diário e emissão de ordens de fabricação no estoque de bobinas lisas	Criação de supermercado	Março/2016
6°	Maior esforço físico no setor de embalagem	Automatizar o processo	Até abril/2016
7°	Exposição a riscos químicos nos setores de impressão e laminação	Diminuir a exposição a agentes químicos	Até abril/2016
8°	Elevada variabilidade no tempo de cura	Padronizar o o tempo de cura	Sem data definida

Fonte: (elaborado pela autora)

Foi decidido que a primeira melhoria a ser realizada seria relacionada aos pontos 3 e 4: maior tempo de processamento para a

fabricação e maior consumo energético para a fabricação a partir de bobinas simples (ver seção 4.5). Foi definido que seria necessário realizar uma análise mais detalhada sobre as diferenças entre a produção a partir de bobinas simples e dupla, buscando estabelecer um critério para decidir qual tipo de bobina será utilizada para cada cliente.

A segunda e a terceira melhoria a serem realizadas estão relacionadas aos pontos 1 e 2: elevados tempos de *setup* nas etapas de impressão e laminação. Foi definida a utilização da TRF para alcançar os objetivos estipulados, e um grupo de trabalho foi definido. Na etapa de impressão estabeleceu-se o prazo de implementação da TRF até o fim do mês de novembro de 2015, já na etapa de laminação o prazo estipulado foi até o fim de janeiro de 2016, pois em dezembro um grande número de funcionários estaria em férias.

A quarta melhoria está relacionada ao ponto 6: elevadas perdas de materiais. Para este ponto, decidiu-se focar no rebobinamento, pois além de ser o processo que apresenta maiores perdas, todo o material que chega no rebobinamento já foi processado em todos os outros processos. Para esta melhoria foi estabelecido que seria necessário entender as causas das perdas, e um grupo de trabalho foi constituído.

A quinta melhoria é relacionada aos pontos 5, 9 e 11: necessidade de conferência de estoque diário e emissão de ordens de fabricação no estoque de bobinas lisas, elevado estoque de bobinas lisas e elevado estoque de matéria prima (Polietileno Linear de Baixa Densidade e Polietileno Linear). Para este caso, foi estabelecido que a solução seria criar um supermercado de bobinas lisas e um supermercado de matéria prima.

A sexta e a sétima melhorias estão relacionadas aos pontos 7 e 8: maior esforço físico no setor de embalagem; e exposição a riscos químicos nos setores de impressão e laminação. Para estas melhorias são necessários investimentos e, por isso, foi estabelecido um prazo maior.

A oitava melhoria está relacionada ao ponto 10: elevada variabilidade no tempo de cura. Para esta melhoria foi decidido estabelecer um tempo padrão para a etapa de cura.

Após a definição da priorização das melhorias iniciou-se as etapas de implementação, que serão descritas nos próximos tópicos.

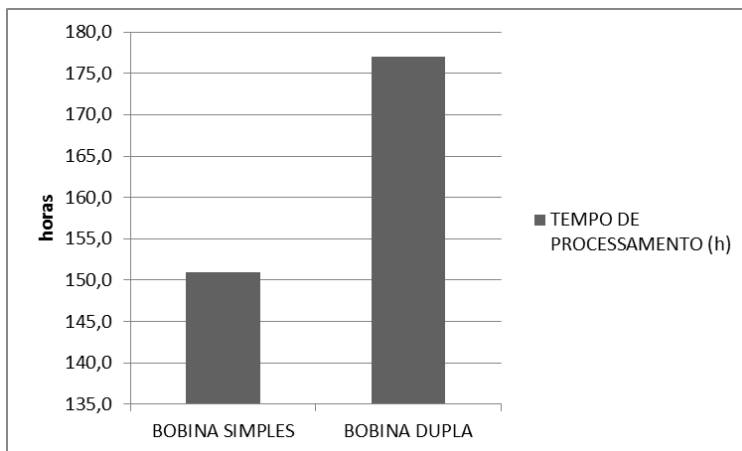
5.1 BOBINA SIMPLES X BOBINA DUPLA

Conforme observado na coleta de tempos, tem-se a média de 192 segundos para a produção de 1 kg a partir de bobinas duplas, e a média

de 225 segundos pra a produção da mesma quantidade a partir de bobinas simples.

Se toda a produção do mês de julho que foi feita a partir de bobinas simples fosse realizada a partir de bobinas duplas, haveria a economia de 25,9 horas de processamento (Figura 28).

Figura 28- Comparação de tempo de processamento por mês



Fonte: (elaborado pela autora)

Foi observado também que o tempo de *setup* em cada etapa não se altera ao se utilizar bobinas duplas.

Observando o processo de rebobinamento com mais detalhes, notou-se que se tem menos perda de material ao se fabricar a partir de bobinas duplas.

Conforme a ilustração da Figura 16, que mostra a retirada do fitile nos dois casos, pode-se observar que para a fabricação a partir de bobinas duplas tem-se a retirada de 3,9% de material por unidade de comprimento, enquanto que para a fabricação a partir de bobinas simples tem-se a retirada de 7,6% de material por unidade de comprimento.

É importante observar que esta diferença só foi detectada ao se observar o processo com mais detalhes, já que na coleta de dados da matéria-prima desperdiçada no rebobinamento esses valores eram difíceis de serem detectados diante do grande desperdício de material no processo.

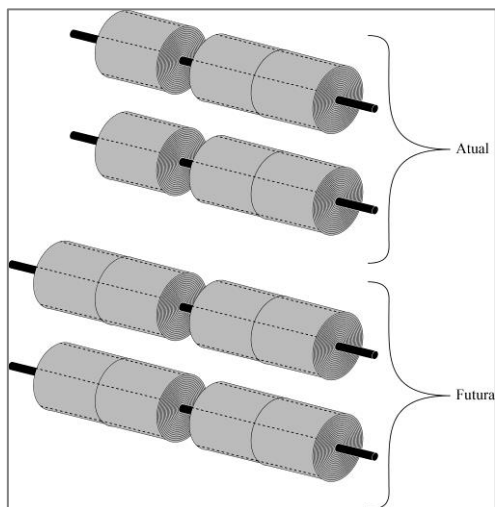
Deve-se observar também que com a redução do tempo de funcionamento dos equipamentos, há redução no consumo energético,

que passa de 9,6kW para 6,6kW consumidos por kg. Em um mês isto reflete em uma economia de R\$3.400,00, considerando R\$ 0,40 o preço do kW.

Atualmente apenas a extrusora número 5 é capaz de produzir bobinas do tipo dupla. Sua capacidade está limitada a produzir duas bobinas duplas e duas simples simultaneamente.

É possível que este equipamento produza quatro bobinas duplas simultaneamente e, para tanto, é necessária a troca do rolo principal da máquina. A empresa já adquiriu a peça e deve trocá-la em breve. O esboço apresentado na Figura 29 ilustra esta situação.

Figura 29- Representação da extrusão atual e futura.



Fonte: (elaborada pela autora)

Um ponto a ser observado é que ao efetuar-se a detecção de defeitos durante o processo, e este estiver trabalhando com bobinas do tipo dupla, pode ocorrer de se ter o dobro de perdas de material até que o problema seja sanado. Portanto, há a necessidade de maior controle do processo.

Até o momento a persistência em se produzir a partir de bobinas simples devia-se à diferença de custo de fabricação dos clichês, sendo que um jogo de clichê para o processo simples custa R\$ 1.300,00 e para o processo duplo custa R\$ 2.800,00. Porém, cada jogo de clichê dura até dois anos e só deve ser alterado caso o cliente mude a arte a ser

impressa. O Quadro 8 apresenta os pontos positivos e negativos de cada escolha.

Quadro 8- Pontos positivos e negativos da escolha de bobinas

Pontos positivos	Pontos negativos
O tempo de processamento da mesma quantidade de filme é reduzido	Necessidade de mudança na máquina extrusora
O tempo de <i>setup</i> dos equipamentos é o mesmo	Necessidade de maior controle do processo
Tem-se menos perdas de material no processo de rebobinamento	Maior custo para a fabricação do clichê
Por reduzir o tempo de processamento, reduz-se o consumo de energia	

Fonte: (elaborada pela autora)

Finalmente se implantou o seguinte critério para a decisão: somente clientes com pedidos abaixo de 2000 kg ao ano devem possuir clichês do tipo simples.

5.2 REDUÇÃO DO TEMPO DE *SETUP* (TRF)

O plano de ação para a redução dos tempos de *setup* nas etapas de impressão e laminação começou com a definição da equipe de trabalho. A equipe foi composta por: o gerente de produção, uma colaboradora responsável pelos apontamentos, o supervisor do setor de impressão e laminação, a colorista da empresa, a pesquisadora e os três operadores das máquinas.

Em seguida foi realizada uma reunião de sensibilização dos participantes, em que os conceitos da manufatura enxuta e da TRF (Troca Rápida de Ferramentas) foram expostos. O objetivo determinado foi de reduzir o tempo de *setup* da impressão para 30 minutos e da laminação para 20 minutos.

Iniciando-se com a etapa de impressão, o passo seguinte foi a verificação detalhada das etapas de *setup* da impressão. Nesse momento foram listadas as etapas do procedimento, as quais foram classificadas como internas e externas, de acordo com Shingo (1996a):

- *Setup* interno – procedimentos que podem ser executados apenas quando a máquina está parada;
- *Setup* externo – procedimentos que podem ser executados enquanto a máquina estiver em operação.

Em seguida foi realizada a cronometragem, a qual é detalhada no Apêndice F.

Após a mensuração dos tempos das etapas do acerto da impressora, foram discutidas com o grupo as prováveis causas dos tempos elevados, sendo elas:

1. Necessidade de sincronização da máquina coladora com a impressora, melhoria esta que seria capaz de reduzir o tempo de calibragem das pressões para menos de dois minutos;
2. *Checklist* dos materiais e ferramentas necessários para o *setup*;
3. Maior precisão da formulação de cores;
4. Separação e sincronização dos responsáveis por cada atividade.

Logo na semana seguinte um técnico foi chamado para realizar a sincronização da máquina coladora com a impressora e, como previsto, os 20 minutos foram reduzidos para 3 minutos.

Somente com esta melhoria na máquina e com a separação e sincronização das atividades dos operadores conseguiu-se chegar a 35 minutos de tempo de *setup*.

Na sequência foram elaborados *checklists* para auxiliar o *setup* externo, tanto na clichéria quanto no próprio setor de impressão (Apêndice F e Apêndice G). Esses *checklists* começarão a ser utilizados em janeiro de 2016.

Em seguida o grupo focará na redução de tempo de *setup* na etapa de laminação.

5.3 REDUÇÃO DAS PERDAS DE MATERIAIS

Conforme apresentado no mapa do estado atual, a última etapa de processamento de material, o rebobinamento, apresenta o maior índice de perda de matéria-prima (Figura 30).

Primeiramente observou-se detalhadamente as perdas nesta etapa do processo, e pode-se concluir que a causa dos valores elevados de perdas neste setor estão relacionadas a falhas de controle de processo nas etapas anteriores. Foram observados os seguintes tipos de perda:

1. Retirada de fitile: este tipo de perda é intrínseca ao processo, sendo necessário que se retire 1,5 cm de material das bordas da bobina, e um valor abaixo disto pode ocasionar falhas. Porém, foram observados em alguns pedidos que a largura do fitile chegava a 2 cm, caracterizando

uma perda evitável caso a largura da bobina fosse melhor controlada no processo de extrusão.

2. Falhas de laminação: ao detectar falhas do processo de laminação, o operador do rebobinamento retira o material impróprio para entrega ao cliente. Estas falhas se caracterizam por estrias no filme ou descolamento da segunda camada de filme. Pode-se evitar tal falha com o maior controle do processo e até com treinamento adequado sobre a operação da máquina.

3. Falhas de impressão: a falha de impressão é detectada ao se observar colorações diferentes, sombras, riscos ou falta de nitidez da arte. Quando este tipo de falha chega até o setor de rebobinamento significa que o setor de laminação também processou material defeituoso, que deveria ter sido retirado do processo antes, ou então a causa do defeito deveria ter sido evitada. Neste caso, o controle do processo de impressão é o responsável pela eliminação das perdas.

4. Falhas de extrusão: a falha de extrusão é caracterizada pela falta de conformidade da largura ou espessura do filme ou pela existência de furos no filme. Novamente, a detecção de falhas de laminação somente no setor de rebobinamento gera desperdício de processamento.

Figura 30- Exemplo de coleta de matéria-prima desperdiçada para pesagem



Fonte: (elaborada pela autora)

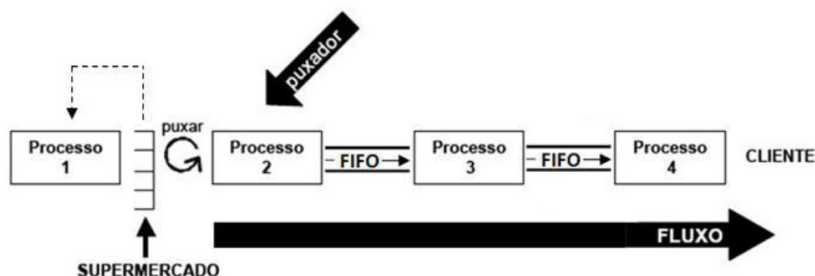
A etapa seguinte desta melhoria consiste em estabelecer qual tipo de controle será adotado em cada etapa da produção.

5.4 CRIAÇÃO DE SUPERMERCADO

As bobinas de filme liso, que podem ser utilizadas para qualquer pedido que solicite embalagens laminadas para 1 kg de alimento, passarão a ser controladas pelo sistema de *Kanban*, e o supermercado será localizado no mesmo local onde hoje é o estoque destas bobinas.

Neste caso, a etapa de impressão atuará como puxador, pois, de acordo com Rother e Shook (2003), em produção sob encomenda o processo puxador deve estar o mais próximo possível dos processos iniciais (Figura 31).

Figura 31- Ilustração da localização do processo puxador



Fonte: (ROTHER; SHOOK, 2003)

A compra de matéria-prima (polietileno) também será regida por *Kanban*.

5.5 AUTOMATIZAÇÃO DA EMBALAGEM

O processo de embalagem das bobinas em paletes, que é realizado manualmente, deve ser automatizado. Esta melhoria resultará em uma significativa diminuição no índice PLI do setor, que atualmente está elevado devido aos movimentos que o operador realiza com a tronco inclinado.

A redução no tempo de processamento e o aumento da qualidade da embalagem também serão reflexos da melhoria. Esta melhoria envolve investimento, portanto o prazo estipulado para sua concretização foi de aproximadamente 3 meses. A Figura 32 ilustra como deverá ser a máquina embaladora.

Figura 32- Máquina embaladora de paletes



Fonte: (LOGISMARKET, 2015)

5.6 REDUÇÃO DOS RISCOS QUÍMICOS

A forma mais eficiente para reduzir a exposição aos riscos químicos é a substituição das tintas que utilizam solvente por tintas à base de água. Para viabilizar esta mudança deve-se primeiro realizar uma avaliação do impacto da mudança no funcionamento das máquinas, no custo de produção e, principalmente, na qualidade da impressão. Devido a isto, nos próximos meses a empresa buscará contatos com fornecedores para avaliar tal substituição.

5.7 PADRONIZAÇÃO DO TEMPO DE CURA

Para que seja possível a padronização do tempo de cura existem duas soluções: a primeira não envolve investimentos e a segunda envolve a necessidade de aquisição de uma estufa.

A primeira consta no monitoramento do processo para que seja possível descobrir o tempo necessário para que a bobina atinja o estado desejável de secagem. Esta não é a melhor solução, pois com a variação das condições climáticas há a variação no tempo de secagem.

A segunda opção consta na aquisição de um equipamento capaz de realizar a secagem das bobinas em um tempo menor e padronizado.

Não foi estabelecida ainda uma meta para a padronização do tempo de cura, pois a direção irá avaliar qual é a melhor solução para a realidade da empresa.

5.8 DIFICULDADES ENCONTRADAS

As dificuldades encontradas durante a realização desta pesquisa são apresentadas a fim de contribuir com a replicação da aplicação do método Sus-VSM.

Na primeira etapa da aplicação, que foi a definição da família de produtos estudada, encontrou-se dificuldade na definição da unidade a ser medida, ou seja a unidade apresentada no mapa. As bobinas são produzidas por pedidos, e cada pedido é produzido em uma quantidade diferente, por exemplo 700 kg, 540 kg, 235kg. Inicialmente cogitou-se ter uma medida de pedido médio, correspondendo o valor médio dos pedidos, porém descartou-se tal possibilidade e foi adotada a medida por quilograma.

Em seguida encontrou-se o desafio de definir a forma de medir as perdas de material. O método Sus-VSM recomenda a medição das entradas e saídas de material do processo, para então se obter as perdas, porém, no processo estudado a medição das entradas de tinta, cola e solvente resultariam em um grande aumento da complexidade. Foi então definido medir diretamente o material descartado no processo, por meio da coleta e pesagem. Foi definido também que apenas o filme seria medido, as quantidades de tintas, solventes e colas seriam desconsideradas.

Ao planejar o acompanhamento dos processos, a fim de coletar os dados de tempos de produção e perdas de matéria-prima, o grupo deparou-se novamente com uma dificuldade: cada etapa do processamento durava até 8 horas contínuas para um único pedido e muitas etapas eram realizadas durante a madrugada, neste caso quem seria o responsável pela coleta de dados? Apenas uma pessoa seria capaz de acompanhar processamentos com duração contínua de 8 horas?. Então foi definido que o próprio operador da máquina seria responsável pela coleta dos dados, desta forma foram distribuídas fichas para a anotação dos dados e foi realizada uma conscientização, com cada operador, sobre a forma correta de anotação. Na primeira semana as fichas foram verificadas e alguns equívocos no preenchimento foram detectados, o que motivou uma nova conscientização individual dos operadores com modificação nas fichas, a fim de simplificar a tarefa.

Em paralelo, havia a necessidade de se coletar dados sobre o consumo energético do processo. Neste momento fez-se novamente uma adaptação do recomendado pelo Sus-VSM, o qual indica a medição do consumo energético durante o processamento e entre as etapas, com transporte, por exemplo. No processo estudado não há consumo energético significativo para o transporte entre as etapas, este é realizado manualmente, ou em alguns casos com a utilização de empilhadeira, e entre curtas distâncias. Portanto foi determinada a medição do consumo energético apenas durante o processamento.

Nesta etapa deparou-se com a dificuldade em relação ao acesso a equipamentos de medição, pois o estudo estava localizado a 500km da UFSC, porém, um laboratório de eletrônica de uma universidade próxima à empresa disponibilizou o equipamento vatímetro.

Quanto aos dados relacionados à métrica social encontrou-se dificuldade para a autorização da coleta de tais dados por parte da gerência. Porém, após algumas conversas para maior esclarecimento a autorização foi concedida.

Durante a realização desta pesquisa a empresa estudada passou por algumas mudanças na estrutura de funcionários, o que gerou dificuldades no desenvolvimento do estudo. Porém, os novos funcionários que assumiram postos relacionados à pesquisa foram atualizados da situação do trabalho e puderam contribuir com a continuidade.

Outro ponto que gerou dificuldades para a realização da pesquisa foi o fato de que a empresa passou por um período de baixa produção. O momento em que se implementaria a troca rápida de ferramentas, por exemplo, foi adiado devido à máquina estar parada.

O período do ano reservado para a implementação das melhorias coincidiu com o período de certificação da ISO 9001 na empresa, o que dificultou o andamento da implementação devido ao envolvimento dos funcionários com as atividades voltadas à certificação. Também neste momento houve novamente troca de funcionários envolvidos com as atividades.

Apesar das dificuldades encontradas na realização da pesquisa, a empresa estudada e seus funcionários sempre mostraram-se prestativos e motivados a encontrar soluções.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo é dedicado à apresentação das conclusões relacionadas à pesquisa desenvolvida, assim como as recomendações para trabalhos futuros.

O contexto da realização desta pesquisa é composto por um cenário de recessão econômica e crescimento da consciência ambiental e social, em que as indústrias devem tornar-se livres de desperdícios e mais sustentáveis para manter-se em atividade.

O objetivo proposto pelo trabalho foi de proporcionar melhorias no processo produtivo, englobando os três âmbitos da sustentabilidade: econômico, ambiental e social, utilizando o Mapeamento de Fluxo de Valor. A fim de alcançar tal objetivo, primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica, que resultou na escolha do método Sus-VSM como o método a ser aplicado nesta pesquisa.

A aplicação do método foi realizada em uma empresa fabricante de embalagens flexíveis, em forma de pesquisa-ação.

O perfil da empresa envolvida torna-se bastante atraente ao se observar a importância das pequenas e microempresas na economia do Brasil. De acordo com a empresa, esta foi a primeira vez em que, ao se realizar melhorias no processo, focou-se também nos aspectos ambientais e sociais do sistema produtivo.

Dentre os documentos que compuseram a revisão bibliográfica cabe destacar que não houveram trabalhos realizados, no contexto brasileiro, considerando o Mapeamento de Fluxo de Valor envolvendo as três dimensões da sustentabilidade.

Na primeira etapa da aplicação do método Sus-VSM realizou-se a coleta de dados durante um mês de produção, e a partir destes elaborou-se o mapa da situação atual do processo.

A segunda etapa consistiu na avaliação da situação atual do processo e na proposição de soluções para os problemas encontrados.

A terceira etapa, referente à implementação das melhorias, ainda se encontra em andamento, porém, as melhorias já implementadas estão trazendo benefícios para a empresa. Devido ao grande contato dos funcionários da empresa com a pesquisa, estes sentem-se capazes a dar continuidade na implementação do Pensamento Enxuto em conjunto com os conceitos de Sustentabilidade.

A partir da realização desta pesquisa verificou-se que a utilização do Mapeamento de Fluxo de Valor em conjunto com os conceitos de Sustentabilidade apresenta-se como uma ferramenta capaz de guiar a melhoria dos processos produtivos em relação ao âmbito econômico,

ambiental e social. A Tabela 4 apresenta, de forma resumida, a situação em que o processo se encontrava antes da aplicação do Sus-VSM e a situação em que o processo pode chegar com a aplicação das melhorias.

Tabela 4- Situação atual e futura

	Situação antes do Sus-VSM	Situação Futura
Contexto Econômico	<i>Lead time</i> de 14,2 dias	<i>Lead time</i> reduzido a 5 dias
	Tempo de processamento variando de 192 a 225 segundos	Tempo de processamento reduzido a 115 segundos
Contexto Ambiental	Consumo energético de 9,6kW por kg	Consumo energético reduzido a 6,6kWpor kg
	Desperdício de 1313,7kg de matéria prima por mês	Redução de 460kg de matéria prima desperdiçada por mês
Contexto Social	Riscos químicos com nota máxima (nota 5) no setor de impressão e laminação	Riscos químicos reduzidos a nota 3
	Alto índice de carga física na etapa de embalagem (PLI: 40,9)	Redução do índice de carga física para PLI: 20

Fonte: (elaborada pela autora)

Finalmente, as principais recomendações para trabalhos futuros são:

- Buscar formas de divulgação do método Sus-VSM em micro e pequenas empresas, principalmente as que não possuem funcionários qualificados e conhecedores dos fundamentos da manufatura sustentável;
- Aplicar o método em diferentes contextos da indústria brasileira a fim de se propor melhorias ao método;
- Extensão dos parâmetros do tripé da sustentabilidade para etapas que não correspondem aos processos de fabricação;
- Mensuração de custos (R\$) antes e depois da aplicação do método;
- Mensuração das categorias de impactos antes e depois da aplicação do método, por exemplo, aquecimento global,

disability-adjusted life year (DALY) e extração de recursos.

REFERÊNCIAS

ABIEF – Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis. **Setor deverá manter ritmo lento de crescimento.** Acesso em 20 de novembro de 2015. Disponível em < http://www.abief.com.br/noticias_flex.php>.

ABNT. ABNT NBR 14937: Sacolas plásticas tipo camiseta - Requisitos e métodos de ensaio. 2010.

ANVISA. Resolução nº 105, de 19 de maio de 1999. Acesso em 20 de dezembro de 2015. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/96d114004d8b6a7baa2debcb116238c3b/ALIMENTOS+RESOLU%C3%87%C3%83O+N%C2%BA+105%2C+DE+19+DE+MAIO+DE+1999.pdf?MOD=AJPERES>.

ANVISA. Resolução-rdc nº 51, de 26 de novembro de 2010. Acesso em 20 de dezembro de 2015. Disponível em <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d29d1c804d8b6e73aa7eebc116238c3b/ALIMENTOS+RESOLU%C3%87%C3%83O+RDC+N%C2%BA+51,+DE+26+DE+NOVEMBRO+DE+2010+-+Migra%C3%A7%C3%A3o.pdf?MOD=AJPERES>>.

ASTERPLAS. **Produtos.** Acesso em 23/10/2015. Disponível em: < <http://www.asterplas.com.br/produto-esc.php?id=16>>.

BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.. **Systematic Review in Software Engineering.** Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. Rio de Janeiro, 2005.

BREITENBACH, F. A.. **Aplicação dos conceitos da manufatura enxuta e do mapeamento do fluxo de valor em uma empresa fabricante de implementos rodoviários de engenharia sob encomenda.** Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em engenharia mecânica - UFSC. 2013.

BROWN, A.; AMUNDSON, J.; BADURDEEN, F. **Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: application case studies.** Journal of Cleaner Production. 2014.

Centro Nacional de Tecnologias Limpas - CNTL. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. 2003. Disponível em: <http://wwwapp.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/implementa%E7%E3o%20PmaisL.pdf>. Acesso em 03 de 03 de 2015.

CHIARINI, ANDREA. **Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers**. Journal of Cleaner Production, vol. 85, p 226-233, 2014.

CORREA, H.L.; CORREA, C., A. **Administração de produção e de operações Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2º edição, São Paulo: Atlas, 2013

COSTAS, R. **Que setores deverão demitir em 2015?**. BBC BRASIL, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2015/02/150130_setores_de missoes_ru> Acesso em 10 de 03 de 2015.

DEIF, A. M. **A system model for green manufacturing**. Journal of Cleaner Production. Vol. 19, p 1553-1559.2011.

DESPEISSE, M.; OATES, M. R.; BALL, P. D. (2013). Sustainable manufacturing tactics and cross-functional factory modelling. Journal of Cleaner Production.

DUES, C. M.; TAN, K. H.; LIMB, M. **Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain**. Journal of Cleaner Production. Vol. 40, p 93-100.2013.

EASTMAN. **The equipment used in blown film extrusion**. Acesso em 23/10/2015. Disponível em http://www.eastman.com/Markets/medical_technical_center/Processing/Extrusion/Pages/BF_Process.aspx.

ELKINGTON, J. **CannibalswithForks: The triple bottonLineof 21st Century Business**.1997.

EPA-UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Lean Manufacturing andEnvironment - Toolkits**. 2007.

Acesso em 27 de 01 de 2015. Disponível em:<<http://www.epa.gov/lean/environment/toolkits/environment/index.htm>>.

_____. EPAa. **Lean, energy & climate toolkit**. 2011.

_____. EPAb. **Lean & water toolkit**. 2011.

FAULKNER, W.; BADURDEEN, F. **Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance**. Journal of Cleaner Production. 2014.

FIESP. **Guia ambiental da indústria gráfica**. Acesso em 15 de junho de 2015. Disponível em: <www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=4500>. 2003.

FLEXOTECH. **Access Premium 6 e 8 cores**. Acesso em: 23 de outubro de 2015. Disponível em: <<http://www.flexotech.com.br/produtos/access-premium-6-e-8-cores>>

FORNO, A. J. **Aplicação e análise das ferramentas benchmarking enxuto e mapeamento do fluxo de valor: estudo de caso em três empresas catarinenses**. Florianópolis. Dissertação apresentada ao programa de pós graduação em engenharia mecânica, UFSC. 2008.

GARZA-REYES, J., A. **Lean and green - a systematic review of the state of the art literature**. Journal of Cleaner Production. Vol. 102, p 18-29, 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa** (4º ed.). São Paulo: Atlas. 2002.

GIMENEZ, C.; VICENTA, S.; RODON, J. **Sustainable operations: Their impact on the triple bottom line**. Int. J. Production Economics, pp. 149-159. 2012.

GUPTA, K; LAUBSCHER, R.F.; DAVIM, J. PAULO; JAIN, N.K. **Recent developments in sustainable manufacturing of gears: a review**. Journal of Cleaner Production. Vol. 112, p 3320-3330. 2016.

HENRIQUES, A. RICHARDSON, J. **The Triple BottomLine – does it alladdup?.** Sterling, 2012.

HOLLMAN, S.; KLIMMER, F.; SCHMIDT, K.; KYLIAN, H. **Validationof a questionnaireofassessingphysicalworkload.** Scand. J. WorkEnviron. Health 25 (2), p. 105e114. 1999.

JAREBRANT, C., *et al.* **ErgoVSM: A Tool for Integrating Value Stream Mapping and Ergonomics in Manufacturing.** Human Factors and Ergonomics In Manufacturing. 2015.

KITCHENHAM, B. **Procedures for PerformingSystematicReviews.** Joint TechnicalReport, Software EngineeringGroup, KeeleUniversityandEmpirical Software Eng., Nat'l ICT Australia, 2004.

KURDVE, M.; ZACKRISSON, M.; WIKTORSSON, M.; HARLIN, U. **Lean and green integration into production system models - experiences from Swedish industry.** Journal of Cleaner Production. Vol. 85 p. 180–190. 2014.

LAGUNA, E. **Produção de Veículos até maio é a menor em oito anos, aponta Anfavea.** VALOR ECONÔMICO, 2015. Acesso em 08 de 06 de 2015, disponível em: <
<http://www.valor.com.br/empresas/4084060/producao-de-veiculos-ate-maio-e-menor-em-oito-anos-aponta-anfavea>>.

LAI, JIN; HARJATI, AL; MCGINNIS, LEON; ZHOU, CHEN; GULDBERG, TINA **An economic and environmental framework for analyzing globally sourced auto parts packaging system.** Journal of Cleaner Production. Vol. 16, p 1632-1646, 2008.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Porto Alegre: Bookman. 2005

LIKER, J. K.; HOSEUS, M. **A Cultura Toyota: a alma do modelo Toyota.** Porto Alegre: Bookman, 2009

LOGISMARKET. **O novo compact pallet pack suporta cargas de até 2000 kg.** Acesso em 27 de dezembro de 2015. Disponível em: <
<https://www.logismarket.ind.br/in/byg-byg-amplia-sua-linha-de>

produtos-o-novo-compact-pallet-pack-suporta-cargas-de-ate-2000-kg-461581-FGR.jpg>. 2015.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MARCONI, M. D.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica** (7º ed.). São Paulo: Atlas. 2010.

MAXIMIANO, A., C. A. **Introdução à administração**. 8º Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2011

MILLER, G.; PAWLOSKI, J.; STANDRIDGE, C. **A case study of lean, sustainable manufacturing**. J. Ind. Eng. Manag. 1 (3), 11-32. 2010.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21**. Acesso em 15 de março de 2015, disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>>.

MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. **Normas Regulamentadoras**. Acesso em 10 de agosto de 2015. Disponível em: <http://www3.mte.gov.br/seg_sau/leg_normas_regulamentadoras.asp>. 2015

NEDER, V. **Tarifa de energia para a indústria sobe em média 23,4%**. EXAME, 2015. Acesso em 10 de 03 de 2015, disponível em: <<http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/tarifa-de-energia-para-a-industria-sobe-em-media-23-4>>

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre, Bookman. 1997.

ONU- Organização das Nações Unidas. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Acesso em 10 de março de 2015. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>>

PAJU, M., HEIALALA, J., HENTULA, M., HEIKKILÄ, A., JOHANSSON, B., LEONG, S. **Framework and indicators for a sustainable manufacturing mapping methodology**. Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. 2010.

PALADINI, E. P. **Gestão Estratégica da Qualidade. Princípios, métodos e processos. Segunda Edição. Revista e atualizada: A qualidade e as lições da crise.** São Paulo: Editora Atlas, 2011

PNUMA. **United Nations Environment Programme** . Acesso em 09 de março de 2015. Disponível em:
<<http://www.pnuma.org/english/AboutUNEP.php>>

RAMOS, A. R. **Benchmarking da produção mais limpa para a análise de empresas de manufatura.** Florianópolis. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em engenharia mecânica-UFSC. 2013.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício.** São Paulo: LEAN INSTITUTE BRASIL. 2003.

SAWHNEY, R.; TEPARAKUL, P.; ARUNA, B.; LI, X. **En-lean: a framework to align lean and green manufacturing in the metal cutting supply chain.** Int. J. Enterprise Network Management, Vol. 1, No. 3, 2007.

SCARPETA, E. **9 Dicas Úteis de Colagem de Clichês e Que Ajudam a Preservar a Superfície do Porta Clichês e Camisa.** Acesso em 23/10/2015. Disponível em < <http://www.blogflexo.com/flexografia/9-dicas-uteis-de-colagem-de-cliches-e-que-ajudam-a-preservar-a-superficie-do-porta-cliches-e-camisa/>>.

SEBRAE-SP. **Indicadores SEBRAE-SP - pesquisa de Conjuntura.** Acesso em 08 de 06 de 2015. Disponível em:<http://www.sebraesp.com.br/arquivos_site/biblioteca/EstudosPesquisas/indicadores/indicadores_mai_15.pdf>.

SHINGO, S. **Sistema de troca rápida de ferramenta: uma revolução nos sistemas produtivos.** Porto Alegre, Bookman, 2000.

____SHINGO a, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de produção.** Porto Alegre, Bookman, 1996.

_____**SHINGOb, S. Sistemas de produção com estoque zero: o sistema Shingo para melhorias contínuas.** 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, E.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação** (4º ed.). Florianópolis: UFSC. 2005.

SILVA, T. M. **Mapeamento do fluxo de valor e simulação a eventos discretos para a redução de desperdícios em uma família de peças usinadas em uma empresa do setor automotivo.** Florianópolis: Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em engenharia mecânica -UFSC. 2013.

SLACK, N., CHAMBERS S., JOHNSTON R. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 2009.

SPARKS, D.; BADURDEEN, F. **Combining Sustainable Value Stream Mapping and Simulation to Asses Supply Chain Performance.** Industrial and Systems Engineering Research Conference. 2014.

TAYLOR, J. R **Introdução à análise de erros - o estudo de incertezas em medições físicas.** Porto Alegre. Bookman, 2012.

THE US DEPARTMENT OF COMMERCE. **The International Trade Administrationand The U.S. DepartmentofCommerce'sdefinition for Sustainable Manufacturing.** Acesso em 08 de 06 de 2015, disponível em: <http://www.trade.gov/competitiveness/sustainablemanufacturing/how_doc_defines_SM.asp>.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação.** São Paulo: Cortez, 1985.

TORRES JR, A. S.; GATI, A. M. **Environmental Value stream mapping (EVSM) as Sustainability Management Tool.** Portland International Center for Management ofEngineeringand Technology (PICMET). 2009.

UN-DOCUMENTS, 1987. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. Acesso em 06 de junho de 2015. Disponível em: < <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>

UNEP- United Nations Environment Programme. **Information Hub Overview - Paris COP 21/CMP 11**. Acesso em 01 de dezembro de 2015, disponível em: <<http://web.unep.org/climatechange/cop21>>

VEIGA, José Eli da. **Desenvolvimento Sustentável: o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond, 2005.

VINODH, S.; ARVIND, K. R.; SOMANAATHAN, M. **Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives**. Clean Technologies and Environmental Policy, vol. 13, p 469-479, 2011.

VINODH, S.; BEN RUBEN, R.; ASOKAN, P. **Life cycle assessment integrated value stream mapping framework to ensure sustainable manufacturing: a case study**. Clean Technologies and Environmental Policy, 2015.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**. Rio de Janeiro, Campus, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T; ROOS, D. **The Machine that Changed the World**. New York, Macmillan, 1990.

YUAN, C.; ZHAI, Q.; DORNFELD, B. **A three dimensional system approach for environmentally sustainable manufacturing**. . Journal of Cleaner Production. Vol. 105, p 52-63. 2015.

ZHANG, H; HAAPALA, K. R. **Integrating sustainable manufacturing assessment into decision making for a production work cell**. Journal of Cleaner Production. Vol. 61, p 39-42. 2012.

APÊNCICE A–Formulário dados da produção



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

Formulário de dados de produção
















Posto de Trabalho: _____

FILME LAMINADO DE 1Kg SIMPLES 0,3mm

Data								
Número OP								
Operador								
Horário início do <i>set up</i>								
Horário primeira peça boa								
Horário de término								
Quant. produzida (kg)								
Perda filme								

Início do *setup*: horário em que o operador começa a organizar a máquina para o pedido
Horário primeira peça boa: Horário que a máquina começa a produzir de forma correta
Perda de: quantidade de filme descartado durante o processamento

APÊNCICE B –Formulário PLI

		NUNCA	RARAMENTE	AS VEZES	FREQUENTEMENTE	MUITO FREQUENTEMENTE
	TRONCO ERETO					
	TRONCO LIGEIRAMENTE INCLINADO (5°)					
	TRONCO FORTEMENTE INCLINADO (45°)					
	TRONCO TORCIDO					
	TRONCO LATERALMENTE TORCIDO					
BRAÇOS						
	BRAÇOS ABAIXO DA ALTURA DO OMBRO					
	UM BRAÇO ACIMA DA ALTURA DO OMBRO					
	DOIS BRAÇOS ACIMA DA ALTURA DO OMBRO					
PERNAS						
	SENTADO					
	EM PÉ					
	AGACHADO					
	AJOELHADO					
	CAMINHANDO OU MOVENDO-SE					
LEVANTAMENTO DE PESOS						
COM O TRONCO ERETO						
	PESOS ATÉ 10 kg					
	PESOS DE 10 A 20 kg					
	PESOS ACIMA DE 20 kg					
COM O TRONCO INCLINADO						
	PESOS ATÉ 10 kg					
	PESOS DE 10 A 20 kg					
	PESOS ACIMA DE 20 kg					

APÊNDICE D – Dados coletados para o cálculo do PLI

	ÍNDICE PLI	T2	T3	T4	T5	A2	A3	L3	L4	L5	WU1	WU2	WU3	WI1	WI2	WI3
EXTRUSÃO	7,4	1	0	0	0	1	2	0	0	4	1	1	1	1	0	0
IMPRESSÃO	25,9	2	4	0	1	1	2	3	3	4	3	2	1	3	1	1
LAMINAÇÃO	35,0	3	3	0	0	4	3	2	0	4	2	2	3	2	2	3
CURA	18,9	1	1	0	0	0	0	2	1	4	1	1	2	1	1	2
REBOBINAMENTO	12,6	1	1	0	0	4	4	0	0	1	2	2	1	2	0	0
EMBALAGEM	40,4	3	4	1	4	2	3	4	4	4	1	2	4	1	2	4

APÊNCICE E–Tomada de tempos *setup* laminação

Etapa Principal	Atividades paralelas	Tempo (min)	Classificação
Troca de tintas		13	interna
	Buscar tinta	1	externa
	Buscar solvente	1	externa
	Buscar espátula	0,5	externa
	Limpeza do cone	3	externa
	Limpeza da bomba	2	externa
	Procurar tinta	1	externa
	Buscar balde vazio	0,3	externa
Troca de camisas		5	interna
	Buscar camisas	1,5	externa
Troca de anilox		7	interno
	Buscar anilox	0,7	externa
	Olhar no painel	1	externa
	Ir na sala de tintas	2	desnecessário
Troca de bobina para acerto		2,5	interno
	Achar bobina para acerto	0,5	externa
	Buscar o elevador	1	externa
Calibragem da pressão das facas e camisas		20	interna
Troca da bobina para iniciar o processo		4	interna
	Desembalar a bobina	1,5	externa
	Recolher as perdas de material	1	externa
	Pesar a perda de material	1,1	externa
Ajuste de cores		16	interna
	Medir viscosidade	3	externa
	Cortar e decidir sobre amostra	3	interna
	Colocar mais solvente	1	desnecessária
Outros ajustes		10	
	Cortar calendário	4	externa
	Colocar calendário	6	interna
Troca da bobina do processo anterior		5	interna
	Buscar elevador	1	externa

APÊNDICE F– Check list clicheria**CHECK LIST CLICHERIA**

Os seguintes itens devem ser verificados na colagem dos clichês:

	Verificar INTERNO X EXTERNO
	Verificar se todos os clichês estão colados na MESMA POSIÇÃO
	Verificar PASSO da fotocélula
	Verificar LARGURA FINAL para aplicação da linha de refila

APÊNCICE G– Check list *setup* impressão

CHECK LIST IMPRESSÃO

Os seguintes itens devem ser verificados antes do início da troca de pedido:

	Tintas com secagem e viscosidades de acordo com a necessidade, posicionadas perto da máquina
	Bobina lisa desembalada posicionada no caminho elevador, ao lado da máquina
	Bobina para acerto de pedido, ao lado da máquina
	Canudos do tamanho necessário para o pedido, ao lado da máquina
	Solventes para limpeza das bombas, perto das bombas
	Caminhos com camisas de clichês e anilox ao lado da porta da máquina
	Calendário na mesa
	Sacos para aparas no setor